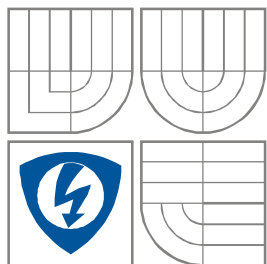


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

SUBJEKTIVNÍ HODNOCENÍ KVALITY VIDEOSEKVENCÍ

SUBJECTIVE QUALITY EVALUATION OF VIDEO SEQUENCES

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S PROJECT

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

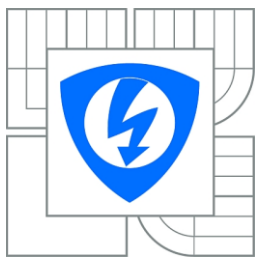
Bc. Tomáš Krmela

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. LADISLAV POLÁK

BRNO 2012



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Elektronika a sdělovací technika

Student: Bc. Tomáš Krmela
Ročník: 2

ID: 111076
Akademický rok: 2011/2012

NÁZEV TÉMATU:

Subjektivní hodnocení kvality videosekvencí

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

V teoretické části práce se seznámte s metodami hodnocení kvality obrazu a videa. Zaměřte se jak na hardwarové tak i na softwarové možnosti. Navrhněte vhodný algoritmus pro hodnocení kvality obrazu a videa a jejich zpracování.

V realizační části práce navrhněte aplikaci s grafickým rozhraním v prostředí MATLAB, umožňující objektivní a subjektivní hodnocení kvality obrazu a videa dle platných standardů. Získané výsledky vyhodnoťte.

Navrhněte koncepci laboratorní úlohy pro vyhodnocení a stanovení objektivních a subjektivních parametrů testovaných obrazů. Připravte také vzorové vypracování navržené laboratorní úlohy.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] GONZALEZ, R. C., WOODS, R. E., EDDINS, S. L. Digital Image Processing Using MATLAB, Pearson Education Inc., 2004. ISBN 0-13-008519-7

[2] Rec. ITU-R BT.500-11. Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures. ITU-R, 1974-2002.

Termín zadání: 6.2.2012

Termín odevzdání: 18.5.2012

Vedoucí práce: Ing. Ladislav Polák

prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida
Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor semestrální práce nesmí při vytváření semestrální práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

Tato práce se zabývá porovnáním subjektivních metod hodnocení kvality videosekvencí. Data jsou získávána pomocí hardwareových a softwareových technik a jsou porovnávána. Nejdříve je popsán způsob komprese videosignálu. Hlavní část práce se zabývá různými metodami subjektivního hodnocení videosekvencí. Následně jsou výsledky získané různými subjektivními metodami vyhodnoceny a porovnány.

Klíčová slova

Subjektivní hodnocení, DSIS, SS, SC, důvěrný interval, barvocit, Gaussův šum

Abstract

This master's work is focused on the comparison of subjective assessment of the quality of video sequences. In this study, data are obtained by hardware and software techniques and they are compared. In the introduction, methods of video compressions are described. The main part of this work deals with the exploring of different methods of subjective assessment of the quality of video sequences. Finally, obtained results from different methods, are evaluated and discussed.

Keywords

Subjective assessment, DSIS, SS, SC, confidence interval, color vision, Gaussian noise

KRMELA, T. *Subjektivní hodnocení kvality videosekvencí*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav radioelektroniky, 2011. 81 s. Semestrální projekt. Vedoucí práce: Ing. Ladislav Polák.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Subjektivní hodnocení kvality videosekvencí jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu diplomové práce ing. Ladislavu Polákovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

LICENČNÍ SMLOUVA

POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan

Jméno a příjmení: Bc. Tomáš Krmela
Bytem: J. Heyrovského 856/12, Třebíč, 674 01
Narozen/a (datum a místo): 19.března 1988 v Třebíči

(dále jen „autor“)

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
se sídlem Technická 3058/10, Brno, 616 00
jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:
prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida, předseda rady oboru Elektronika a sdělovací technika
(dále jen „nabyvatel“)

Čl. 1

Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- ☐ disertační práce
 - ☒ diplomová práce
 - ☐ bakalářská práce
 - ☐ jiná práce, jejíž druh je specifikován jako
- (dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: Subjektivní hodnocení kvality videosekvencí

Vedoucí/ školitel VŠKP: Ing. Ladislav Polák.

Ústav: Ústav radioelektroniky

Datum obhajoby VŠKP: _____

VŠKP odevzdal autor nabyvateli*:

- ☒ v tištěné formě – počet exemplářů: 2
- ☒ v elektronické formě – počet exemplářů: 2

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.
3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

* hodící se zaškrtněte

Článek 2

Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
 - ☒ ihned po uzavření této smlouvy
 - ☐ 1 rok po uzavření této smlouvy
 - ☐ 3 roky po uzavření této smlouvy
 - ☐ 5 let po uzavření této smlouvy
 - ☐ 10 let po uzavření této smlouvy
(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/ 1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

Článek 3

Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne: 18. května 2012

.....

Nabyvatel

.....

Autor

Seznam obrázků

Obr. 3.1 Elektronický potenciometr pro hodnocení metodou Single Stimulus.	13
Obr. 3.2 Obecné uspořádání testovací prezentace. (převzato a upraveno z [2]).	13
Obr. 3.3 Příklad jednoho z obrázků Ishiharova testu. (převzato z [11]).	14
Obr. 3.4 Snellův test.(převzato z [12]).	15
Obr. 3.5 Principiální schéma metody DSIS. (převzato a upraveno z [2]).	16
Obr. 3.6 Varianty struktury testování videosekvencí. (převzato a upraveno z [2]).	16
Obr. 3.7 Principiální schéma metody DSCQS (Převzato a upraveno z [2]).	17
Obr. 5.1 Vzhled programu Barvocit.	23
Obr. 5.2 Vzhled hlavního programu + detail menu.	24
Obr. 5.3 Nastavení programu VLC – rozhraní.	25
Obr. 5.4 Nastavení programu VLC – video.	26
Obr. 5.5 Nastavení programu VLC – kompletní video.	27
Obr. 5.6 Ukázka videosekvence “Parkjoy”.	29
Obr. 5.7 Ukázka videosekvence “Tractor”.	30
Obr. 5.8 Ukázka videosekvence “Ski5”.	30
Obr. 5.9 Ukázka videosekvence “Intotree”.	31
Obr. 5.10 Ukázka videosekvence “Sunflower”.	31
Obr. 6.1 Ukázka pracoviště při hodnocení pomocí potenciometru.	33
Obr. 6.2 Použité nástroje k hodnocení. a) softwareový b) hardwareový.	34
Obr. 7.1 Průměrné skóre videosekvence “Sunflower”.	36
Obr. 7.2 Průměrné skóre videosekvence “Intotree”.	36
Obr. 7.3 Průměrné skóre videosekvence “Ski5”.	37
Obr. 7.4 Průměrné skóre videosekvence “Tractor”.	37
Obr. 7.5 Průměrné skóre videosekvence “Parkjoy”.	38
Obr. 7.6 Celkové hodnocení videosekvence “Parkjoy” komprimované kodekem MPEG-4.	39
Obr. 7.7 Celkové hodnocení videosekvence “Sunflower” komprimované kodekem MPEG-4.	39
Obr. 7.8 Celkové hodnocení videosekvence “Parkjoy” komprimované kodekem MPEG-2.	40
Obr. 7.9 Histogram hodnocení videosekvence “Parkjoy”.	40
Obr. 7.10 Histogram hodnocení videosekvence “Sunflower”.	41
Obr. 7.11 Skóre videosekvencí komprimovaných kodekem MPEG-4.	41
Obr. 7.12 Skóre videosekvencí komprimovaných kodekem MPEG-2.	42
Obr. 7.13 Průměrné skóre videosekvence “Intotree”.	43
Obr. 7.14 Průměrné skóre videosekvence “Sunflower”.	44
Obr. 7.15 Celkové hodnocení videosekvence “Tractor” hodnocené pomocí slideru.	44
Obr. 7.16 Histogram hodnocení videosekvence “Tractor” pro nepřidaný šum.	45
Obr. 7.17 Histogram hodnocení videosekvence “Tractor” pro přidaný šum 16 dB.	46
Obr. 7.18 Histogram hodnocení videosekvence “Tractor” pro přidaný šum 56 dB.	46
Obr. 7.19 Skóre Videosekvencí hodnocených pomocí slideru.	47
Obr. 7.20 Skóre videosekvencí hodnocených pomocí potenciometru.	48
Obr. 7.21 Skóre videosekvence “Ski5”.	49
Obr. 7.22 Skóre videosekvence “Sunflower”.	49
Obr. 7.23 Skóre videosekvence “Intotree”.	50
Obr. 7.24 Skóre videosekvence “Tractor”.	50
Obr. 7.25 Skóre videosekvence “Prakjoy”.	51
Obr. 7.26 Celkové skóre videosekvence “Parkjoy” MPEG-4.	51
Obr. 7.27 Celkové skóre videosekvence “Parkjoy” MPEG-2.	52
Obr. 7.28 Histogram hodnocení videosekvence “Parkjoy”.	53
Obr. 7.29 Skóre videosekvencí komprimovaných kodekem MPEG-4.	54

<i>Obr. 7.30 Skóre videosekvencí komprimovaných kodekem MPEG-2</i>	<i>55</i>
<i>Obr. 7.31 Skóre videosekvence "Intotree".....</i>	<i>56</i>
<i>Obr. 7.32 Skóre videosekvence "Parkjoy".....</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 7.33 Skóre videosekvence "Ski5".....</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 7.34 Celkové skóre videosekvence "Sunflower".....</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 7.35 Histogram hodnocení videosekvence "Sunflower".....</i>	<i>59</i>
<i>Obr. 7.36 Skóre videosekvencí hodnocených sliderem.....</i>	<i>60</i>
<i>Obr. 7.37 Skóre videosekvencí hodnocených potenciometrem.....</i>	<i>60</i>
<i>Obr. 7.38 Rozdíl v hodnocení mezi sliderem a potenciometrem.....</i>	<i>63</i>

Seznam tabulek

<i>Tab. 3.1 Laboratorní podmínky (převzato z [2]).....</i>	<i>12</i>
<i>Tab. 3.2 Stupnice hodnocení metody DSIS</i>	<i>17</i>
<i>Tab. 3.3 Stupnice hodnocení metody SS.....</i>	<i>18</i>
<i>Tab. 3.4 Stupnice hodnocení metody Stimulus-comparison</i>	<i>19</i>
<i>Tab. 5.1 Tabulka použitých datových toků videosekvencí a odpovídajících kompresních poměrů</i>	<i>28</i>
<i>Tab. 5.2 Popis videosekvencí.....</i>	<i>32</i>
<i>Tab. 7.1 Porovnání rozdílu hodnocení mezi sliderem a potenciometrem</i>	<i>62</i>
<i>Tab. 7.2 Průměrná odchylka v hodnocení sliderem a potenciometrem pro použitá poškození a metody</i>	<i>62</i>

Obsah

Seznam obrázků	7
Seznam tabulek	8
1 Úvod	10
2 Objektivní metody hodnocení videosekvencí	11
3 Subjektivní metody hodnocení videosekvencí	12
3.1 Metoda the Double-Stimulus Impairment Scale (DSIS)	15
3.2 Metoda Double-Stimulus Continuous Quality-Scale (DSCQS)	17
3.3 Metoda Single-Stimulus (SS)	18
3.4 Metoda Stimulus-Comparison (SC)	18
3.5 Metoda Single Stimulus Continuous Quality Evaluation (SSCQE)	19
3.6 Metoda Simultaneous Double Stimulus for Continuous Evaluation (SDSCE)...	19
4 Vyhodnocení výsledků hodnocení	20
4.1 Průměrné skóre sekvence	20
4.2 Důvěrný interval	21
4.3 Korigovaný průměr	21
5 Popis programů a videosekvencí	22
5.1 Program <i>Barvocit</i>	22
5.2 Popis hlavní aplikace.....	24
5.2.1 Nastavení programu VLC	25
5.3 Popis videosekvencí.....	28
6 Testování	33
7 Získané výsledky.....	35
7.1 Výsledky metody SS pro poškození kompresí.....	35
7.2 Výsledky metody SS pro poškození přidáním šumu.....	43
7.3 Výsledky metody DSIS pro poškození přidáním šumu	56
7.4 Vliv způsobu hodnocení	61
7.5 Zhodnocení získaných výsledků.....	63
8 Závěr	65
Literatura	66
Seznam příloh.....	68
Příloha 1. Koncepce laboratorní úlohy	69
Příloha 2. Vzorové vypracování laboratorní úlohy	76

1 Úvod

V dnešní době se používají téměř výhradně digitální videosekvence. Jejich výhodou je snadná šířitelnost a přenosnost. Hlavní nevýhodou je velký datový tok. Ten se omezuje komprimací. Komprimace může být bezeztrátová nebo častěji ztrátová. Při použití ztrátové komprimace se datový tok podstatně sníží, ale videosekvence již nejde dokonale obnovit a dochází ke zhoršení kvality [1], [13].

V komprimačních algoritmech se využívá nedokonalosti lidského oka. Barevné složky jsou podvzorkované na poloviční, nebo čtvrtinový datový tok. Vysokofrekvenční složky (hrany a details) obrazu jsou omezeny. Střídají se celé referenční snímky se snímky rozdílovými. S rostoucí komprimací se kvalita obrazu snižuje. Různé komprimační kodeky mají různou účinnost komprese a odolnost vůči chybám při přenosu [13].

Jedním z nejčastěji používaných komprimačních ztrátových formátů je MPEG-2 (Moving Picture Experts Group), který je podrobně popsán v [1]. Nejčastěji se používá v digitální televizi, na DVD a jiných multimediálních aplikacích. Umožňuje komprimaci na datový tok 2 – 80 Mbit/s. Obraz je zpracován pomocí makrobloků. Jeden makroblok se skládá ze čtyř bloků jasového signálu Y a čtyř bloků barevného signálu (dva pro červenou C_R a dva pro modrou C_B). V každém bloku o velikosti 8×8 bodů se provede tzv. diskrétní kosinová transformace - DCT (Discrete Cosine Transform). Ta způsobuje, že jsou jednotlivé vzorky na sobě nezávislé. Jejich velikost se kvantovací tabulkou zmenší (ztrátový proces). Menší složky než práh se nepřenáší. Datový tok je dále snížen entropickým kódováním. Využívá se podobnosti po sobě jdoucích snímků. Detailnější popis kodeku je v [1] a [5].

Dalším velice často používaným kodekem je kodek MPEG-4. Vychází z kodeku MPEG-2. Od něj se liší velikostí bloků zpracování, která není pevná, ale je proměnná, má vylepšenou predikci pohybu a kódování. Obsahuje adaptivní filtr, který vyhlazuje okraje bloků. Detailnější popis kodeku je v [1] a [5].

Kvalitu videosekvence neovlivňuje pouze použitá komprese. Jedním z dalších typických poškození je šum. Jedná se o analogové poškození, které je nezávislé na obsahu videosekvence. Toto poškození vzniká při vzniku digitálního záznamu ve snímáči kamery, například tepelným šumem. V dřívějších dobách se toto poškození projevovalo především v analogové TV. O vzniku šumu a jeho potlačení je více v [6].

Aby se jednotlivé kodeky a další typy poškození daly porovnat, musí se provést hodnocení kvality poškozené videosekvence. Způsobů hodnocení kvality videosekvencí je mnoho. Dělí se do dvou skupin a to na subjektivní a objektivní metody. Subjektivní hodnocení kvality provádí skupina lidí (pozorovatelů). Výsledky jsou přesnější, ale časově a finančně značně náročné. Objektivní metody jsou založené na některém parametru videosekvence, například šumu. Hodnocení sekvence je rychlé a levné, ale není tak věrohodné. Proto je snaha vytvořit model lidského vnímání.

2 Objektivní metody hodnocení videosekvencí

Objektivní metody jsou založeny na různých matematických popisech vlastností obrazu. Jejich výhodou oproti subjektivním metodám je cena a rychlost vyhodnocení kvality videosekvence. Nevýhodou je dosažené ohodnocení videosekvence. To se může u různých metod lišit v závislosti na rozdílném vnímání člověka.

Jednou z nejpoužívanějších a nejjednodušších pixelově orientovaných metod je střední kvadratická chyba MSE (Mean Squared Error). Ta se vypočítá dle [3]:

$$MSE = \frac{1}{TMN} \cdot \sum_t \sum_m \sum_n [X_0(m, n, t) - X_r(m, n, t)]^2, \quad [-] \quad (2.1)$$

kde X_0 je vstupní testovaná videosekvence a X_r je referenční (originální) videosekvence o rozměrech $M \times N$ a T snímcích.

Další často používanou pixelově orientovanou metodou je špičkový poměr signálu k šumu PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio) Ten se vypočítá dle [3]:

$$PSNR = 10 \log \frac{I^2}{MSE}, \quad [\text{dB}] \quad (2.2)$$

kde I je maximální hodnota, kterou může pixel nabývat. Např.: 255 pro 8-bit obrázek.

Jsou i složitější metody hodnocení než pixelově orientované s plnou referencí, které porovnávají originální videosekvenci s poškozenou. Existují metody s omezenou referencí, které porovnávají pouze některé parametry originální videosekvence. Jsou také metody bez reference, které počítají pouze s poškozenou videosekvencí. Jsou založené na modelu lidského vnímání. Počítají s krytím šumu strukturou obrazu, porovnávají hrany v obrazech atd. Tyto metody jsou podrobně popsány v [3], [7] a [14].

3 Subjektivní metody hodnocení videosekvencí

Subjektivní metody hodnocení videosekvencí se používají k vyhodnocení poškození videa vzniklého televizním přenosem nebo komprimací. Výsledky subjektivního hodnocení jsou přesnější (respektive věrohodnější), než výsledky získané objektivními metodami, protože různé rušivé vlivy jsou vnímány jinak. Nevýhodou subjektivního hodnocení je cena a časová náročnost měření. Proto je snaha vytvořit model lidského vnímání na základě výsledků subjektivního hodnocení.

Aby se výsledky získané subjektivním hodnocením v různých laboratořích mohly porovnávat a pozorovatel měl stejné podmínky, jsou tyto podmínky definovány. A to jak používaných měřících metod, tak samotných podmínek v laboratoři. Tyto podmínky jsou uvedeny v Tab. 3.1

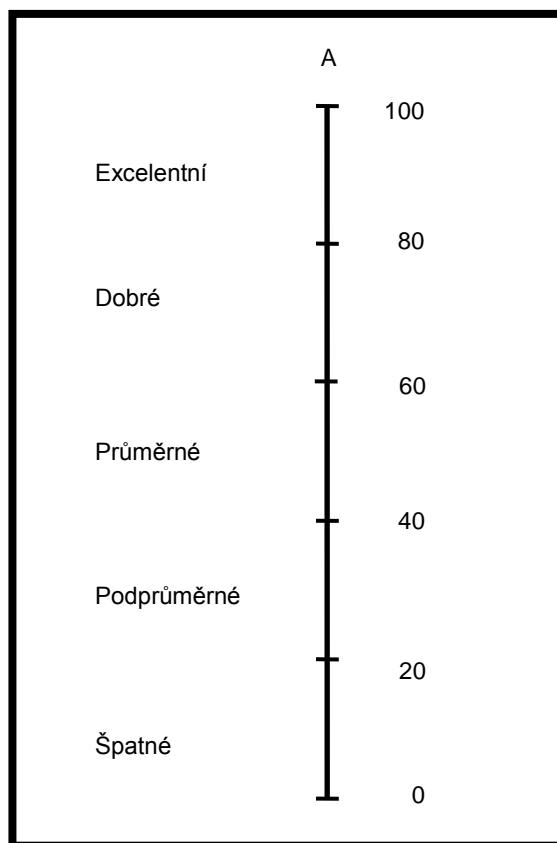
Tab. 3.1 Laboratorní podmínky (převzato z [2])

Parametr	Hodnota
Poměr minimální a maximální luminiscence obrazu	$\leq 0,02$
Poměr luminiscence obrazu, v totálně temné místnosti, černé a bílé barvy.	$\approx 0,01$
Maximální pozorovací úhel vztažený ke kolmici	30°
Poměr luminiscence pozadí za obrazem monitoru k maximální luminiscenci monitoru	$\approx 0,15$
Barva pozadí	D65
Osvětlení místnosti	nízké

Zdrojová videosekvence musí být bez jakýchkoliv poškození, šumu a v dostatečném rozlišení. Pro některé metody je také nezbytné mít originální nepoškozenou videosekvenci

Dle doporučení ITU-R BT.500 [2] hodnocení musí provádět minimálně 15 pozorovatelů. Měli by to být ne-experti, protože není cílem hodnotit přesné poškození videosekvence, ale celkový vjem z ní.

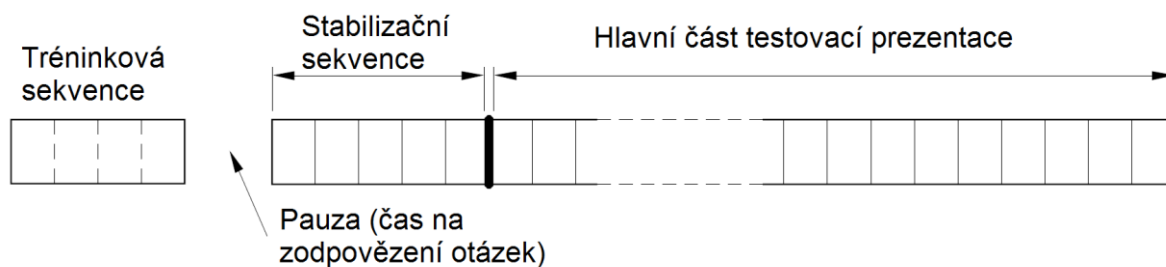
Hodnocení se provádí na elektronickém tahovém potenciometru s délkou dráhy 10 cm. Ten může být přidělán ke stolu, nebo volný. Podle metody hodnocení se jeho podoba mírně mění. Může mít jeden, nebo více jezdců. Vyznačené body se liší počtem a textem. Ukázka popisu potenciometru je na Obr. 3.1.



Obr. 3.1 Elektronický potenciometr pro hodnocení metodou Single Stimulus.

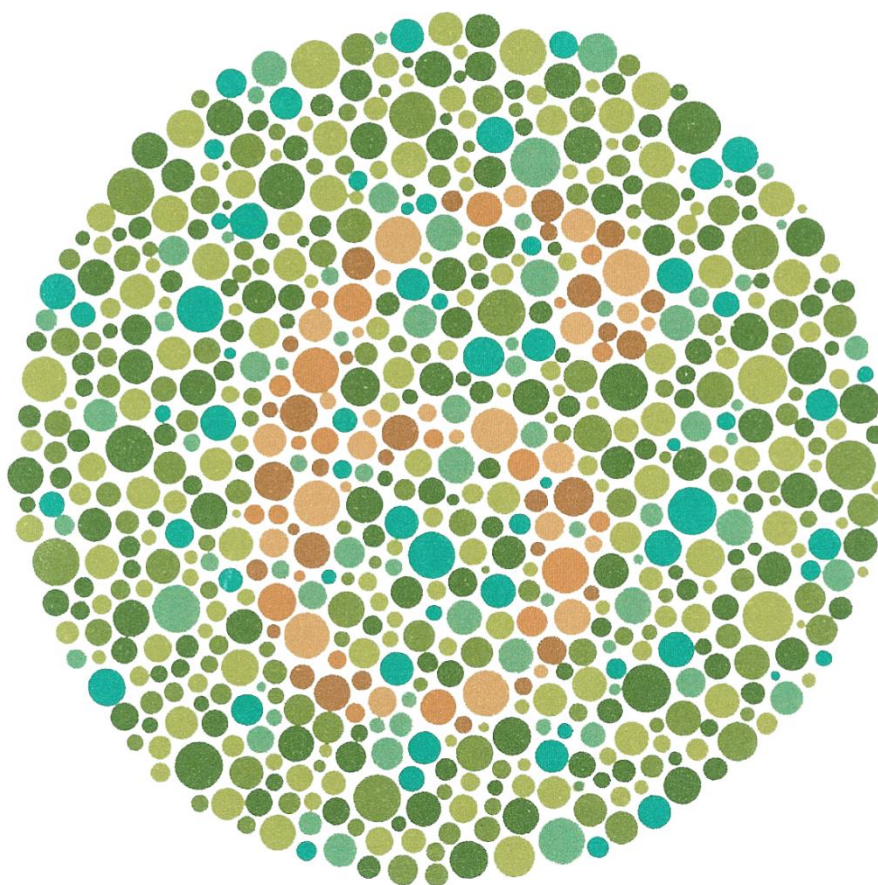
Pozorovatel by měl být opatrně seznámen s metodou hodnocení, typy poškození a kvalitativním faktorem, s hodnocením a její stupnicí a průběhem testovací prezentace. K tomu slouží tréninková prezentace, která na ilustračních obrazech a videosekvencích demonstruje rozsah a typy poškození, které se hodnotí. Ilustrační videosekvence by neměla být užita v testovací prezentaci.

Testovací sekvence by měla trvat do půl hodiny. Prvních pět videosekvencí slouží ke stabilizaci názoru pozorovatele a nevyhodnocují se. Hodnocené videosekvence by měly být uspořádány náhodně. Přesné uspořádání testovací prezentace se liší u každé metody hodnocení, obecné uspořádání je na Obr. 3.2. Další podrobnosti jsou uvedeny v [2] a [3].



Obr. 3.2 Obecné uspořádání testovací prezentace. (převzato a upraveno z [2]).

Na Obr. 3.2 jsou znázorněny hlavní části testovací prezentace. Tréninková sekvence, pomocí které se pozorovatele seznamuje s metodou (SS, DSIS) a způsobem (pomocí potenciometru nebo slideru) hodnocení. Přestávka na zodpovězení případných otázek. Největší část obrázku i samotného testování zabírá testovací prezentace. Na jejím začátku je pět videosekvencí postihujících celý rozsah poškození. Ve zbytku testovací prezentace jsou náhodně uspořádány hodnocené videosekvence.



Obr. 3.3 Příklad jednoho z obrázků Ishiharova testu. (převzato z [11]).

Pozorovatel také musí splnit dvě podmínky. Musí mít dobrý barvocit a ostrý zrak. Barvocit se prověřuje Ishiharovými obrazy. Příklad jednoho testovacího obrazu je na Obr. 3.3. Pro otestování barvocitu byl vytvořen program *Barvocit*, ten je detailně popsán v kapitole 5.1. Aby pozorovatel v testu uspěl může udělat jednu chybu.

E	1	20/200
F P	2	20/100
T O Z	3	20/70
L P E D	4	20/50
P E C F D	5	20/40
E D F C Z P	6	20/30
F E L O P Z D	7	20/25
D E F P O T E C	8	20/20
L E F O D P C T	9	
F D P L T C E O	10	
P E Z O L C F T D	11	

Obr. 3.4 Snellův test.(převzato z [12]).

Ostrost zraku se testuje Snellovým testem zobrazeným na Obr. 3.4. Pozorovatel musí přečíst řádek 20/20. V dnešní době nemá tento test již velký význam, protože většina lidí se o svůj zrak stará a navštěvuje očního lékaře. Případné vady ostrosti zraku má korigované brýlemi.

3.1 Metoda the Double-Stimulus Impairment Scale (DSIS)

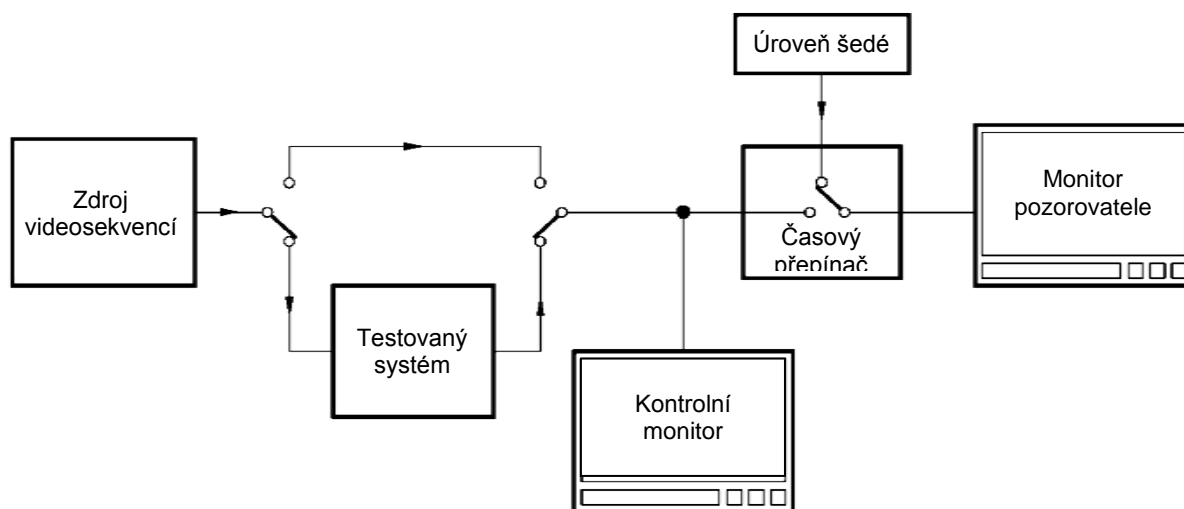
K této metodě je zapotřebí mít i originální nepoškozenou videosekvenci. Ta se pozorovateli přehrává vždy před poškozenou videosekvencí. Toto střídání má pevný časový rastr a videosekvence jsou od sebe odděleny videosekvencí se střední úrovní šedé barvy. Tento rastr je zobrazen na Obr. 3.6. Po přehrání originální i poškozené videosekvence je čas pro samotné hodnocení míry jejího poškození. Stupnice hodnocení je v Tab. 3.2. Metoda je podrobně popsána v [2]. Schematické uspořádání testovacího systému je na Obr. 3.5

Jsou dvě varianty struktury testování videosekvencí:

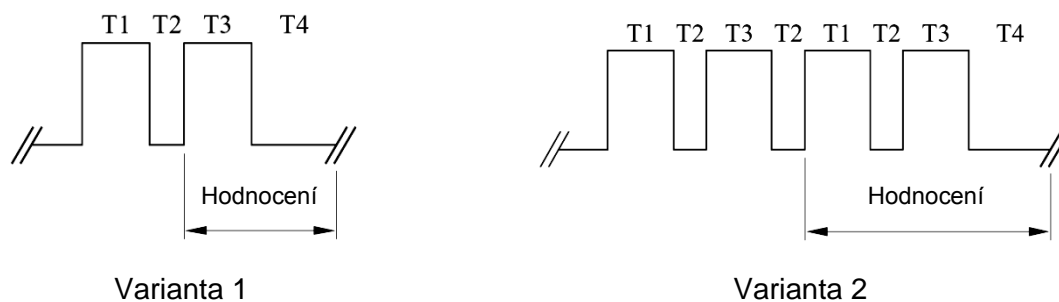
Varianta 1: Referenční a postižené video se pustí jednou. (viz Obr. 3.6)

Varianta 2: Referenční a postižené video se pustí dvakrát za sebou. (viz Obr. 3.6)

Varianta 2 zabere dvakrát více času, ale lze získat přesnější výsledky. Proto se hodí na hodnocení slabě poškozených videosekvencí. Často se touto metodou hledá práh pozorovatelnosti poškození videosekvence.



Obr. 3.5 Principiální schéma metody DSIS. (převzato a upraveno z [2]).



T1 = 10 s Referenční videosekvence
 T2 = 3 s Šedá
 T3 = 10 s Testovaná videosekvence
 T4 = 5-11 s Šedá

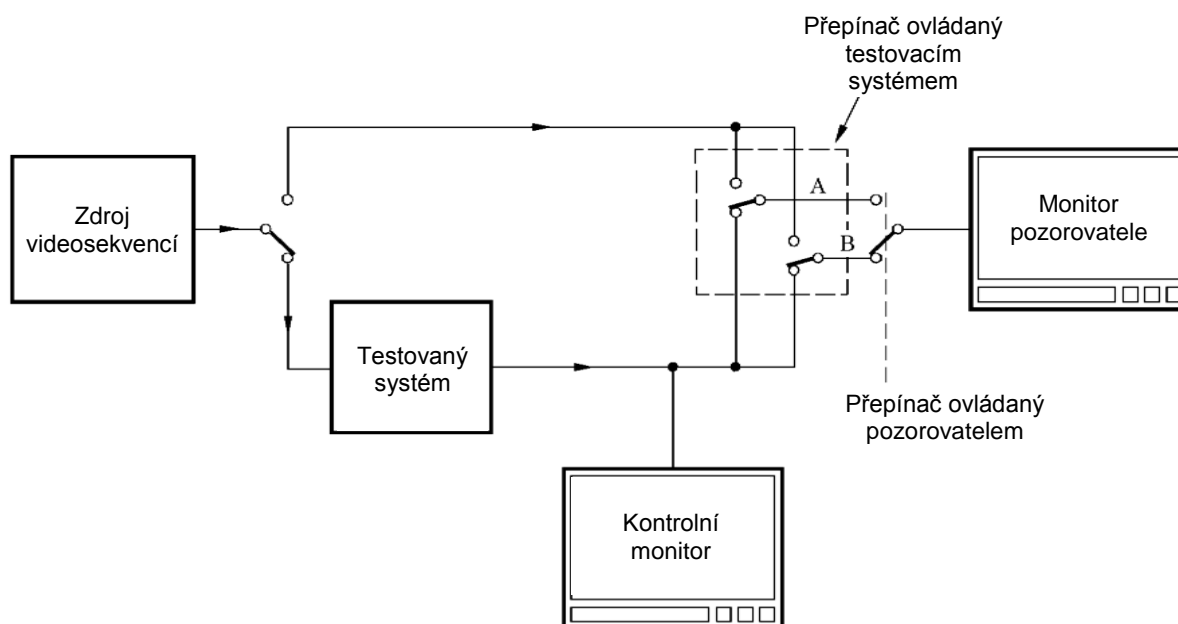
Obr. 3.6 Varianty struktury testování videosekvencí. (převzato a upraveno z [2]).

Tab. 3.2 Stupnice hodnocení metody DSIS

Hodnota	Popis
5	nepostřehnutelný rozdíl
4	postřehnutelný rozdíl, ale neruší
3	mírně ruší
2	rušivé
1	velmi rušivé

3.2 Metoda Double-Stimulus Continuous Quality-Scale (DSCQS)

Metoda podobná metodě DSIS. Pozorovateli je přivedeno originální i zkreslené video na výstupy A a B. Mezi nimi může přepínat, ale neví které video je které. Navíc pozice videa na výstupu A a B se náhodně mění. Pozorovatel hodnotí obě videa zároveň a to v rozsahu 0 až 100. Uspořádání testovacího systému je na Obr. 3.7. Metoda je podrobně popsána v [2].



Obr. 3.7 Principiální schéma metody DSCQS (Převzato a upraveno z [2]).

3.3 Metoda Single-Stimulus (SS)

Velmi podobná metodě DSIS, ale pozorovatel nemá k dispozici originální obraz nebo video sekvenci. SS metoda má také dvě varianty. U obou metod se střídá šedá barva, testovaný obraz nebo video sekvence a opět šedá barva. Tyto varianty se liší počtem opakování videosekvencí a především časovou náročností.

Varianta 1: V testovací prezentaci se každý obraz nebo video sekvence zobrazí pouze jednou.

Varianta 2: Testovací prezentace se skládá ze tří prezentací. Prezentace obsahují totožné obrazy nebo video sekvence, ty ale nesmí být na stejném místě a mít totožné sousední video sekvence v ostatních prezentacích. Prezentace jsou od sebe odděleny nápisem na monitoru. Zpracovávají se pouze výsledky z druhé a třetí prezentace. První prezentace slouží pouze k ustálení názoru pozorovatele.

Hodnocení může být dvojího typu. Spojité od 0 do 100, nebo pěti třídní, která je uvedeno v Tab. 3.3. Metoda je podrobně popsána v [2].

Tab. 3.3 Stupnice hodnocení metody SS

Hodnota	Kvalita	Zhoršení
5	Excelentní	nepostřehnutelný rozdíl
4	Dobré	postřehnutelný rozdíl, ale neruší
3	Průměrné	mírně ruší
2	Podprůměrné	rušivé
1	Špatné	velmi rušivé

3.4 Metoda Stimulus-Comparison (SC)

V této metodě pozorovatel porovnává dva obrazy nebo video sekvence, z nichž žádný není originální. Pozorovatel porovnává všechny video sekvence, se všemi. Proto je tato metoda časově náročná. Metoda je podrobně popsána v [2].

Tato metoda má tři druhy hodnocení video sekvencí. Pozorovatel hodnotí:

- 1) rozdíl kvality obrazů zařadí do třídy. (viz Tab. 3.4).
- 2) rozdíl kvality obrazů spojitě. Hodnocení odpovídá třídám viz Tab. 3.4.
- 3) kvalitu každého videa zvlášť od 0 do 100.

Tab. 3.4 Stupnice hodnocení metody Stimulus-comparison

Hodnota	Popis
-3	Mnohem horší
-2	Horší
-1	Mírně horší
0	Stejně
1	Mírně lepší
2	Lepší
3	Mnohem lepší

3.5 Metoda Single Stimulus Continuous Quality Evaluation (SSCQE)

Metoda určená pro hodnocení kvality video sekvencí digitální televize. Pozorovatel nemá k dispozici originální video sekvenci a hodnotí pouze upravenou video sekvenci. To odpovídá domácím podmínkám. Kvalita obrazu se mění plynule. Pozorovatel podle svého mění na posuvníku hodnocení kvality od 0 do 100. Údaj o kvalitě se snímá dvakrát za vteřinu.

Způsob testování je dle [2] následující:

- 1) Programme Segment (PS): video sekvence odpovídá druhu pořadu (např. sport, zprávy, film). Mění se jeden kvalitativní parametr QP (Quality Parameters) video sekvence (např. bitový tok). Každý PS by měl trvat nejméně 5 minut.
- 2) Test Session (TS): je série kombinací PS/QP bez oddělení a pseudo-náhodném uspořádání. V každé TS jsou všechny PS a QP, ale nemusí obsahovat všechny kombinace. Měla by trvat 30 až 60 minut.
- 3) Test Presentation (TP): je nejkomplexnější test. Aby byly zhodnoceny všechny kombinace PS/QP, skládá se z několika TS.

3.6 Metoda Simultaneous Double Stimulus for Continuous Evaluation (SDSCE)

Metoda navržená pro digitální obrazy a video sekvence. Pozorovatel porovnává testovanou video sekvenci s originální a hodnotí její věrnost na posuvníku od 0 do 100. Video se promítají zároveň, dle velikosti je možné je zobrazit na jednom nebo dvou monitorech.

V testovací prezentaci je shodná s SSCQE, ale pozorovatel má k dispozici originální video. Metoda je podrobně popsána v [2].

4 Vyhodnocení výsledků hodnocení

Vyhodnocení výsledků hodnocení je nejdůležitější částí hodnocení. Vyhodnocuje se každá videosekvence zvlášť a následně se výsledky skládají do souvislostí a grafů dle datového toku, druhu videosekvence a použitého kodeku, nebo poškození. Z výsledků se dá určit řada parametrů, jako:

- minimální použitelný datový tok
- rozdíl mezi kodeky
- vlivy různých druhů poškození
- vlivy různých způsobů hodnocení
- a další.

4.1 Průměrné skóre sekvence

Je první krok pro vyhodnocení výsledků. Je také nejdůležitější hledaný parametr videosekvence. Pomocí něj se počítají další parametry videosekvencí, jako je důvěrný interval a standardní odchylka. Další popis je uveden v [15].

Dostaneme jej dle [2]:

$$\overline{u_{jkr}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N u_{ijkr}, \quad [-] \quad (4.1)$$

kde:

u_{ijkr} – skóre pozorovatele i pro testovanou podmínku j , sekvenci k a opakování r

N – počet pozorovatelů

I – počet prezentací

j – testovaná podmínka

k – testovací sekvence

r – počet opakování kombinace sekvence a poškození

4.2 Důvěrný interval

Když se prezentují výsledky testu, všechna průměrná skóre by měla být dle [2] v důvěrném intervalu, který je odvozený ze standardních odchylek a průměrné hodnoty hodnocení každé videosekvence. Důvěrným intervalem se odstraní uživatelé, kteří hodnotili danou videosekvenci velmi odlišně od průměru. To se může stát například vlivem nepozornosti pozorovatele.

Důvěrný interval je rozmezí:

$$[u_{jkr} - \delta_{jkr}, u_{jkr} + \delta_{jkr}], \quad (4.2)$$

kde:

$$\delta_{jkr} = 1,96 \frac{S_{jkr}}{\sqrt{N}}, \quad [-] \quad (4.3)$$

Standardní odchylku pro každou prezentaci S_{jkr} dostaneme:

$$S_{jkr} = \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{(\bar{u}_{jkr} - u_{ijkr})^2}{N-1}}, \quad [-] \quad (4.4)$$

kde:

u_{jkr} – průměrné skóre videosekvence

u_{ijkr} – skóre videosekvence od jednoho uživatele

Standardní odchylka se počítá pro každou testovací podmínku. Data mimo důvěrný interval mohou být zanedbána, nebo aproximována a prezentována jako zhoršená.

4.3 Korigovaný průměr

Je to poslední krok prezentace výsledků subjektivního hodnocení. Používá se k zpřesnění dosažených výsledků vyloučením pozorovatelů s odchylkou hodnocení od průměru větší, než je důvěrný interval. Detailněji popsáno v [2].

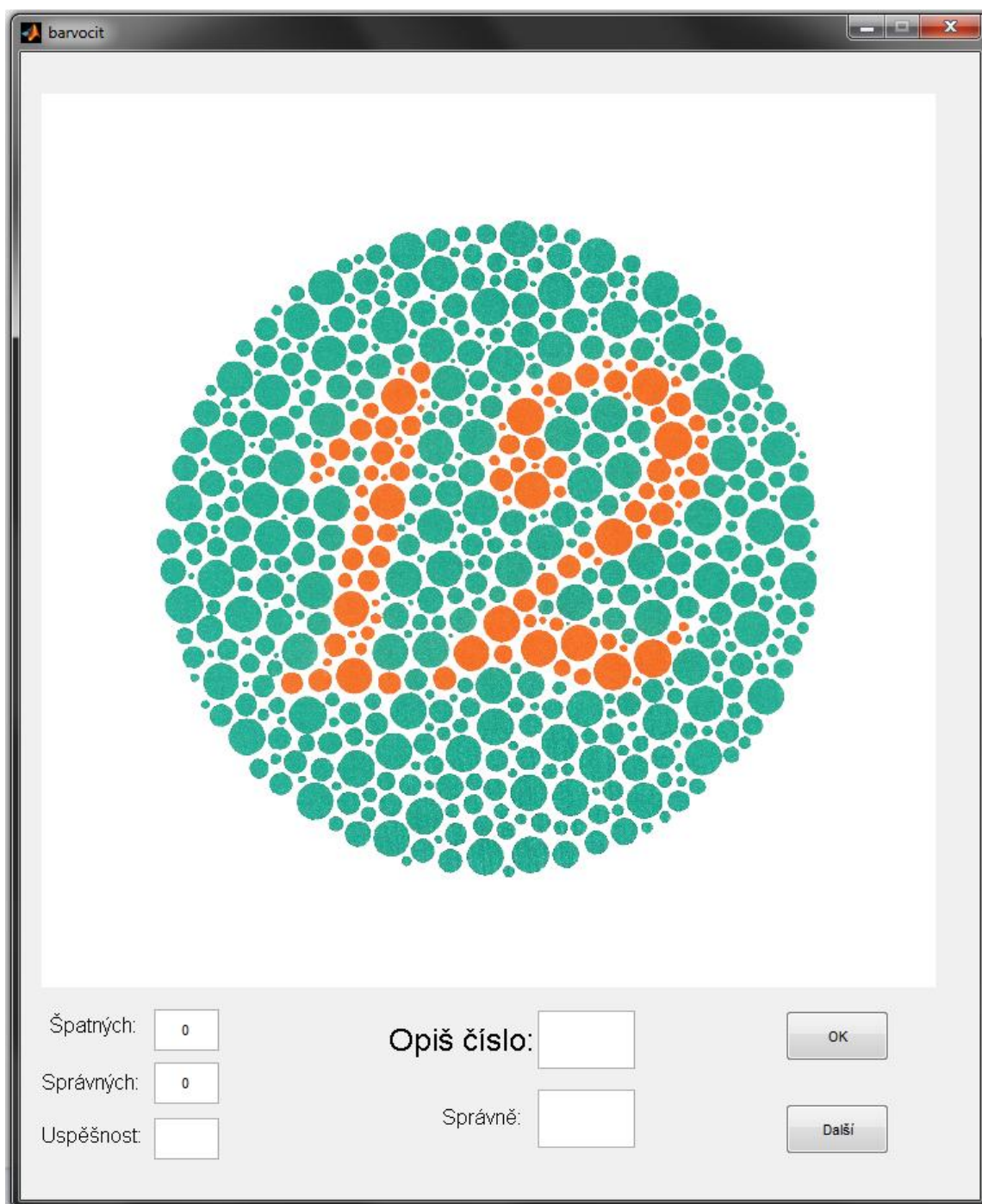
Počítá se stejně jako průměrné skóre videosekvence dle rovnice (4.1), ale skóre pozorovatele musí být v důvěrném intervalu (4.2).

5 Popis programů a videosekvencí

Pro tuto diplomovou práci byly vytvořeny aplikace v programu MATLAB v uživatelském rozhraní GUI (Graphical User Interface). Byl vytvořen program *Barvocit*, který testuje barvocit pozorovatele. Hlavní program, který použít videosekvence určené k hodnocení a zaznamenává hodnocení pozorovatele. Umožňuje hodnotit videosekvence dvěma metodami SS a DSIS a také dvěma způsoby hodnocení, a to softwareově pomocí slideru a hardwareově pomocí potenciometru.

5.1 Program *Barvocit*

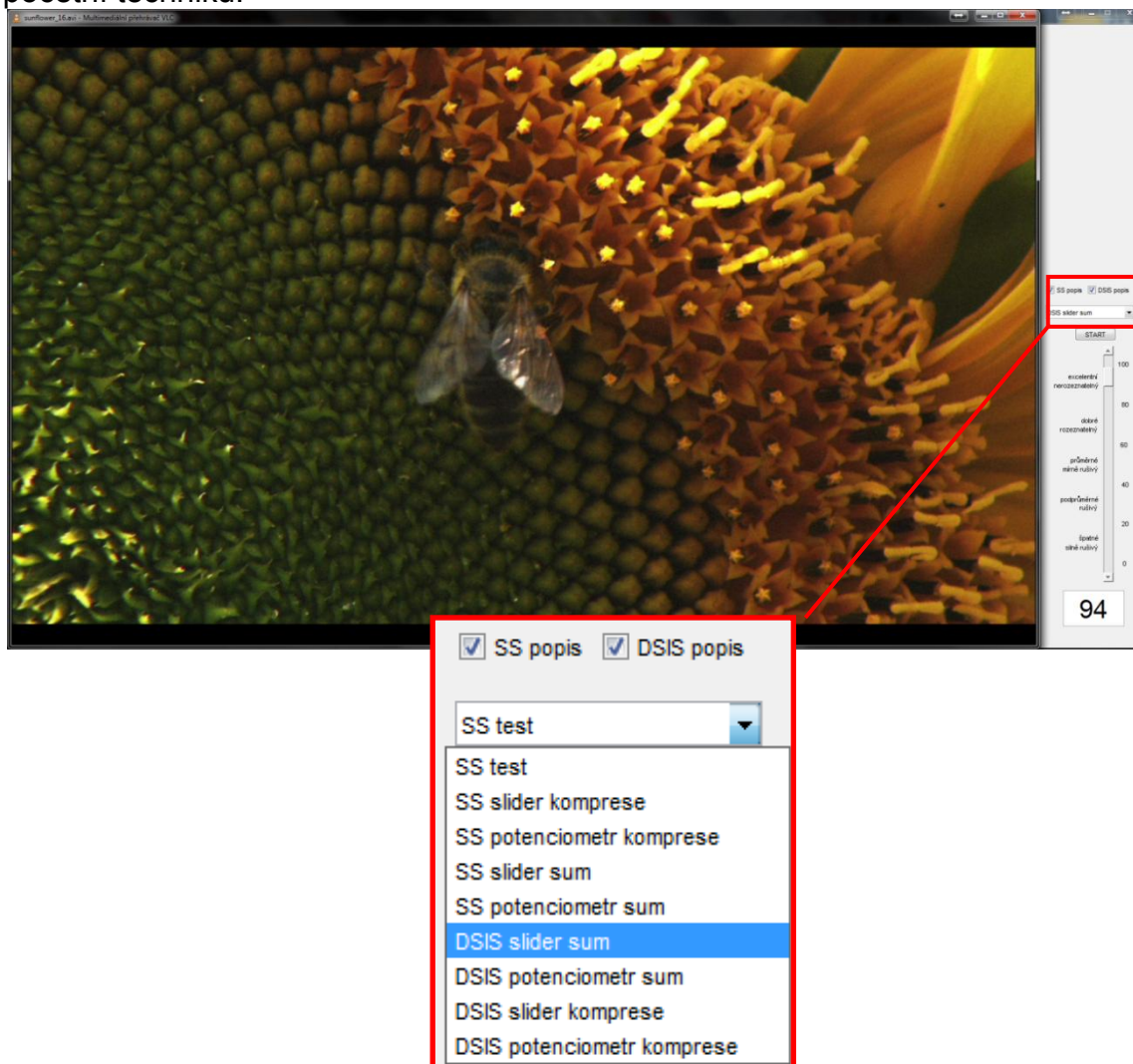
Po spuštění programu v MATLABu se zobrazí vlastní okno *Barvocitu*, které je na Obr. 5.1. Ovládání programu je intuitivní, všechny ovládací prvky jsou popsány. Pozorovatel opíše číslo z Ishiharova obrázku do kolonky *Opiš číslo*. Poté klikne na tlačítko *OK*, čímž potvrdí svoji volbu a zobrazí se mu správné číslo v kolonce *Správně* a připočte se podle správnosti volby do *Špatných* nebo *Správných*. Dále klikne na tlačítko *Další*. Zobrazí se nový Ishiharův obrázek, vypočte se a zobrazí úspěšnost v kolonce *Úspěšnost* a vymažou se kolonky *Opiš číslo* a *Správně*. Takto se pozorovatel dostane přes všechny obrázky. Jako poslední se mu zobrazí informace o konci testu. Do Excelovského souboru se zapíše jednotlivá čísla, která během testu zapsal, spolu se správnými, aby bylo možno se poté podívat, kde udělal chybu. Také se zapíše procentuální *Úspěšnost*.



Obr. 5.1 Vzhled programu Barvocit.

5.2 Popis hlavní aplikace

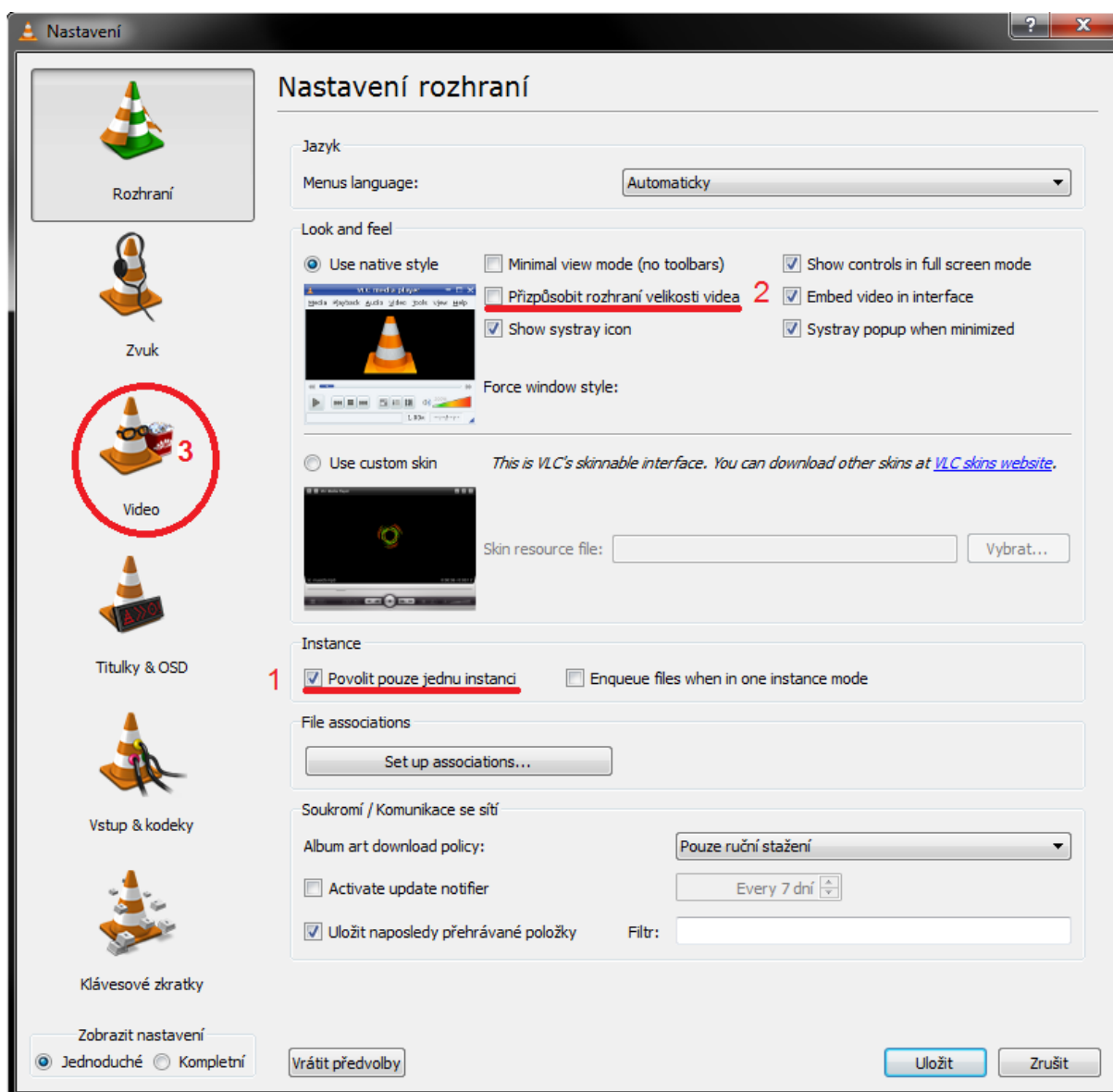
Hlavní program slouží k získání dat potřebných pro porovnání hardwarových a softwarových možností hodnocení a pro porovnání různých kodeků a poškození videosekvencí. Hlavní program je pro pozorovatele velice jednoduchý. Jak je vidět z Obr. 5.2 většinu uživatelského prostředí zabírá testovaná videosekvence, která se spouští v programu VLC (Video Lan Client) [9], z důvodu velké výpočetní náročnosti přehrávání videa pomocí MATLABu. Druhou dominantou je slider (detailně zobrazen na Obr. 6.2 a)) s vyznačenými hlavními hodnotami a textovým popisem. Textový popis je volitelný pomocí zaškrtačkových políček a rozdílný pro metodu SS a DSIS, viz detail na Obr. 5.2. Pod sliderem se zobrazuje přesná číselná hodnota z posuvníku. Dále je zde rolovací menu detail Obr. 5.2, kde si uživatel vybírá testovací prezentaci a tlačítko Start, to spouští hodnocení videosekvencí. Největší část zabírá samotná testovací videosekvence. Popis jednotlivých způsobů hodnocení bude uveden dále v kapitole 6. Přehrávač VLC byl zvolen z několika důvodů. Je volně ke stažení [9], je snadný na obsluhu a výborně se nastavuje. Je rychlý a nenáročný na výpočetní techniku.



Obr. 5.2 Vzhled hlavního programu + detail menu.

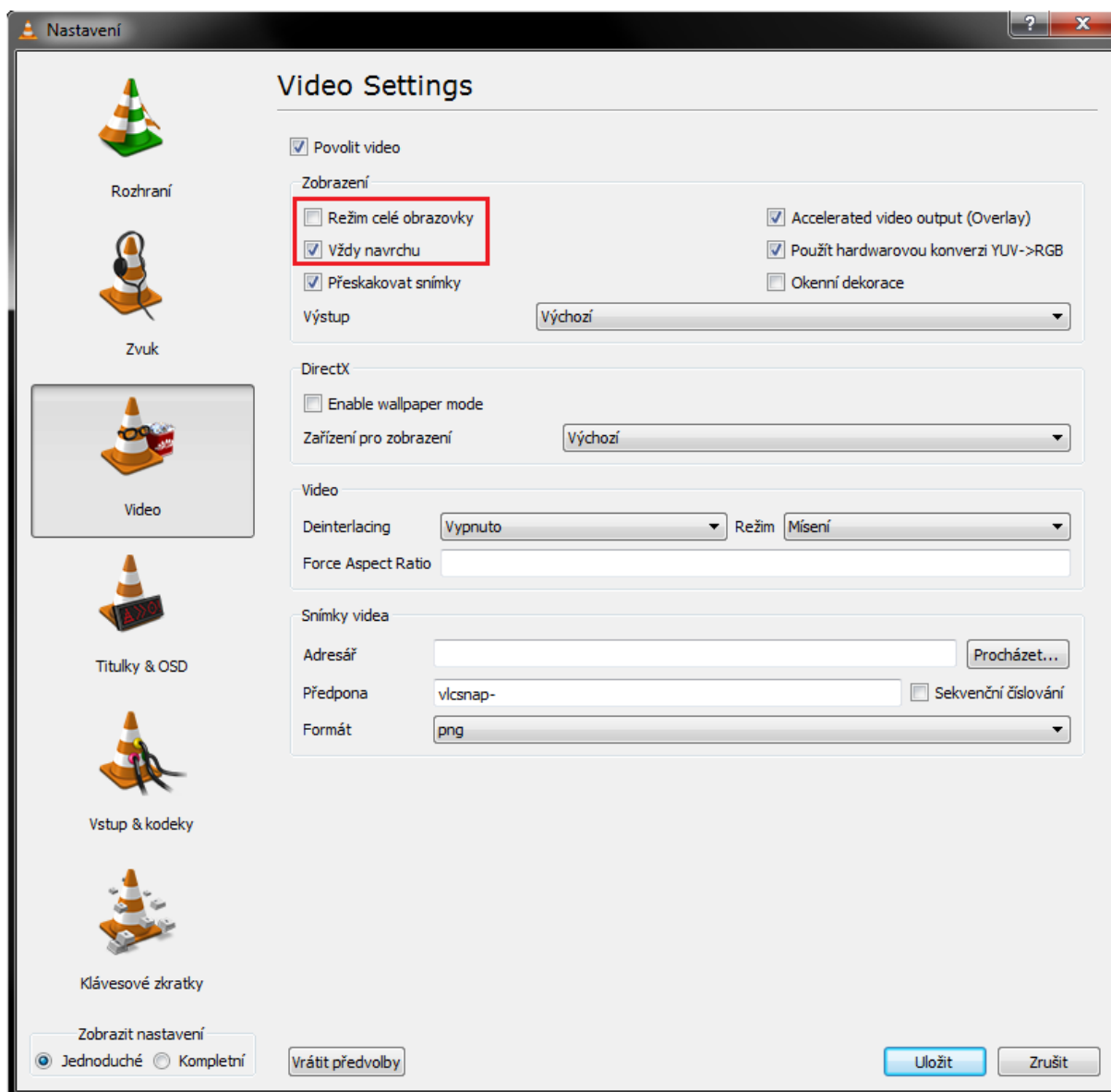
5.2.1 Nastavení programu VLC

Nastavení programu VLC (VideoLan Client) je jednoduché a rychlé. Po spuštění programu se kliknutím v horní liště na *Nástroje/Předvolby* nebo zmáčknutím klávesové zkratky *Ctrl+P* dostaneme do nastavení programu viz Obr. 5.3. Zde nejprve zatrhneme možnost *Povolit pouze jednu instanci* (bod 1), poté se nebude pro každou videosekvenci otevírat nové okno přehrávače. Odtrhneme možnost *Přizpůsobit rozhraní velikosti videa* (bod 2), nastavená velikost a poloha okna se se spuštěním další videosekvence nezmění. Následně dáme změny uložit a přepneme se na záložku *Video* (bod 3).



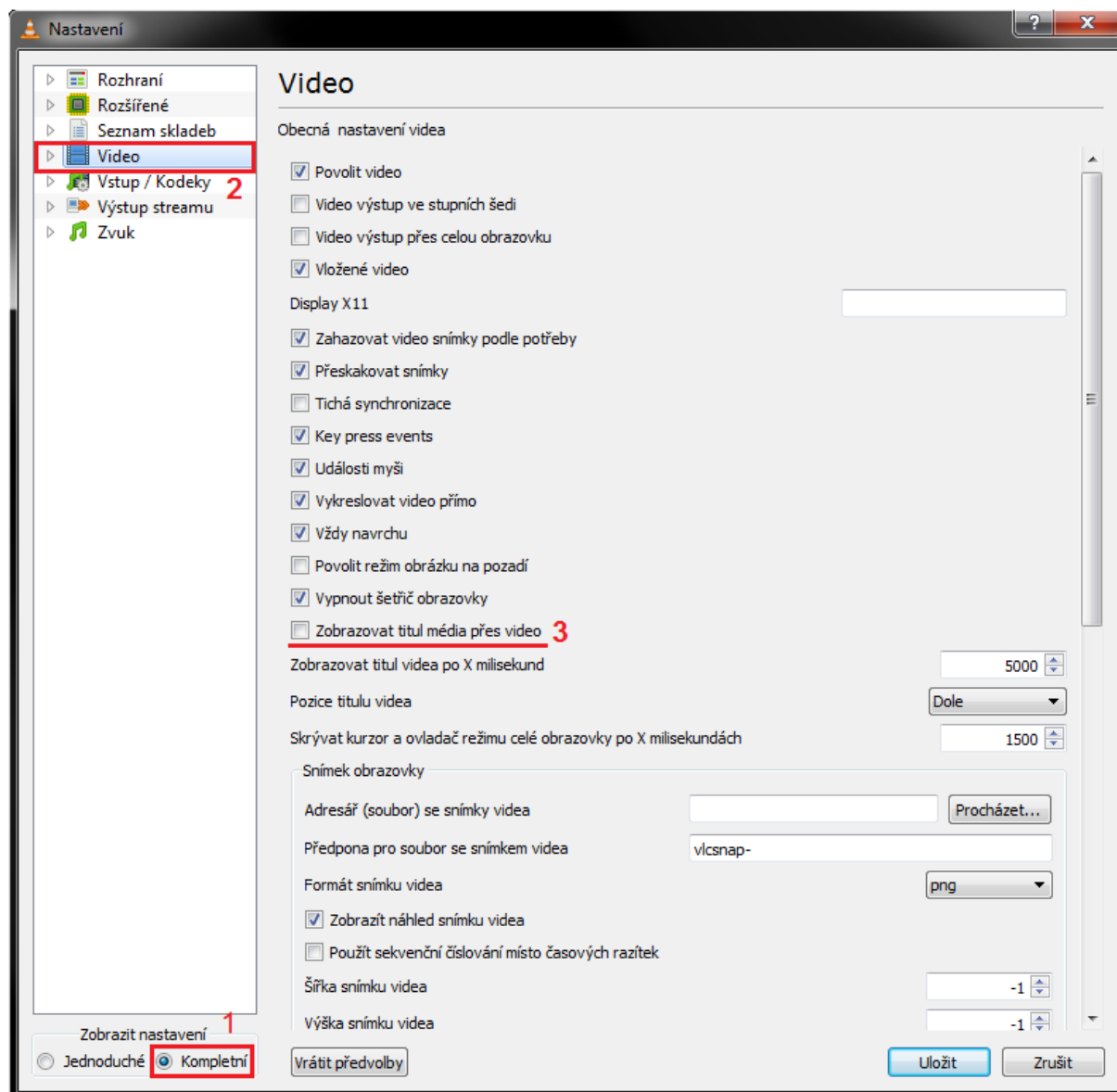
Obr. 5.3 Nastavení programu VLC – rozhraní.

V záložce Video, jak je naznačeno na Obr. 5.4 zatrhneme možnost vždy navrchu, aby se při testování nic nemohlo dostat před videosekvenci a tím ji zakrýt. Pro testování na dvou monitorech a nebo pro hodnocení pomocí potenciometru se zaškrtně možnost celé obrazovky, aby pozorovatele nic nerušilo. Změny opět uložíme.



Obr. 5.4 Nastavení programu VLC – video.

Pro další nastavení se přepneme z *jednoduchého* do *kompletního* nastavení. Přepínač je ve spodním levém rohu (bod 1). Dále se přepneme do položky *Video*, viz Obr. 5.5 (bod 2). Zde zrušíme možnost *Zobrazovat titul média přes video* (bod 3). Poté se nebude při spuštění videosekvence zobrazovat její název, což je rušící. Videosekvence je pro přehlednost hlavního programu podle poškození pojmenovaná.



Obr. 5.5 Nastavení programu VLC – kompletní video.

5.3 Popis videosekvencí

K hodnocení kvality videosekvencí v této diplomové práci bylo vybráno pět videosekvencí stejně jako v [10]. Formát videosekvencí je 720p. To je rozlišení 1280 x 720 progresivně (neprokládaně) ve formátu 16:9, což při vzorkování 4:2:0 odpovídá datovému toku 276 Mb/s, viz (5.1)

$$\text{datový tok} = (1280 \cdot 720 \cdot 12 \cdot 25) = 276,48 \text{ Mb/s} = 34,56 \text{ MB/s}, \quad (5.1)$$

kde $1280 \cdot 720$ je rozlišení obrazu, 25 je snímků za vteřinu a 12 je průměrný počet bitů na jeden obrazový bod.

Tento velký datový tok se zkomprimoval na datové toky uvedené v Tab. 5.1, kde je zobrazen i odpovídající kompresní poměr. Kompresní poměr určuje, kolikrát je výsledný datový tok menší než originální. Příklad výpočtu je:

$$KP = \frac{\text{Originální datový tok}}{\text{Komprimovaný datový tok}} = \frac{276480}{9024} = 31 \quad [-] \quad (5.2)$$

Tab. 5.1 Tabulka použitých datových toků videosekvencí a odpovídajících kompresních poměrů

Datový tok [kb/s]	Kompresní poměr [-]
9024	31
7008	39
5040	55
3024	91
2016	137
1488	186
1008	274
480	576
240	1152

Videosekvence byly také poškozeny pomocí MATLABu [8] přidáním bílého Gaussovského šumu AWGN (Additive White Gaussian Noise). Rozmezí přidaného šumu bylo zvoleno 0 až 64 dB s krokem 8 dB. Maximum přidaného šumu bylo zvoleno takové, aby hodnocení uživatelů kleslo téměř k nule. Krok byl zvolen 8 dB jako kompromis velikosti testovací prezentace a jemnosti grafu. Po přidání šumu pomocí MATLABu je velikost videosekvencí 675 MB, což je dvojnásobek proti originální videosekvenci. Videosekvence nejsou komprimované, naopak přepočítané na vzorkování 4:4:4. Proto jsou dvojnásobně velké.



a) videosekvence Parkjoy



b) detail originální videosekvence



c) komprimace kodekem MPEG- 4 240 kb/s



d) přidaný šum 16 dB

Obr. 5.6 Ukázka videosekvence "Parkjoy".

Náhledy jednotlivých videosekvencí a detaily jednotlivých poškození jsou na Obr. 5.6 až Obr. 5.10. Zobrazené detaily poškození jsou vždy pro jiný parametr poškození. Poškození přidaným šumem se postupně zvětšuje, naopak poškození komprimací se zmenšuje.



a) videosekvence Tractor



b) detail originální videosekvence



c) komprimace kodekem MPEG- 4 480 kb/s

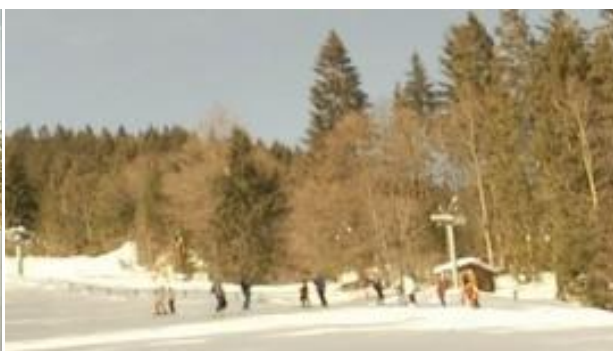


d) přidaný šum 24 dB

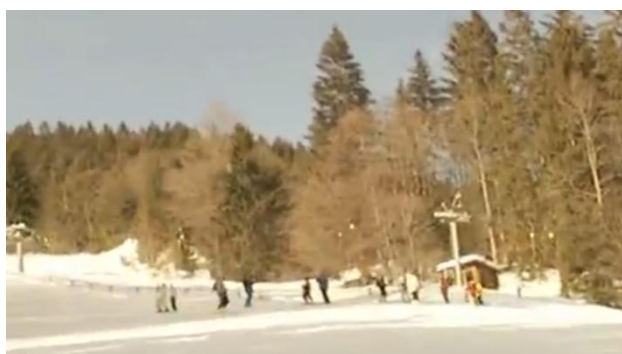
Obr. 5.7 Ukázka videosekvence "Tractor".



a) videosekvence Ski5



b) detail originální videosekvence



c) komprimace kodekem MPEG- 4 1008 kb/s



d) přidaný šum 32 dB

Obr. 5.8 Ukázka videosekvence "Ski5".



a) videosekvence Intotree



b) detail originální videosekvence



c) komprimace kodekem MPEG- 4 1488 kb/s



d) přidaný šum 40 dB

Obr. 5.9 Ukázka videosekvence "Intotree".



a) videosekvence Sunflower



b) detail originální videosekvence



c) komprimace kodekem MPEG- 2 2016 kb/s



d) přidaný šum 48 dB

Obr. 5.10 Ukázka videosekvence "Sunflower".

Tab. 5.2 Popis videosekvencí

Videosekvence	Popis	Očekávání při komprimaci
Parkjoy	Celá scéna se posouvá, navíc jsou na ní skotačící lidé.	Protože je video velice dynamické a je v něm hodně detailů bude hodnocení rychle klesat.
Tractor	Traktor jedoucí po poli. Scéna se pomalu posouvá, méně detailů.	Pomalejší pokles hodnocení než u sekvence "Parkjoy", protože video obsahuje méně jemných detailů.
Ski5	Záběr na lyžaře, malý pohyb scény, velké jednolitě plochy.	Hodnocení bude klesat až při menších datových tocích, budou se tvořit artefakty na jednolitých plochách (sníh a obloha).
Intotree	Nálet záběru na strom, málo dynamické málo detailů.	Hodnocení bude klesat až při malých datových tocích, počáteční hodnocení bude nižší než u ostatních videí, obloha je postižená šumem.
Sunflower	Macro záběr na jemně se kývajících slunečnici, kterou právě opyluje včela.	Hodnocení bude vysoké, obraz je plný drobných detailů. Hodnocení bude pomalu klesat až při malých datových tocích, protože se scéna téměř nepohybuje, pohybuje se pouze včela.

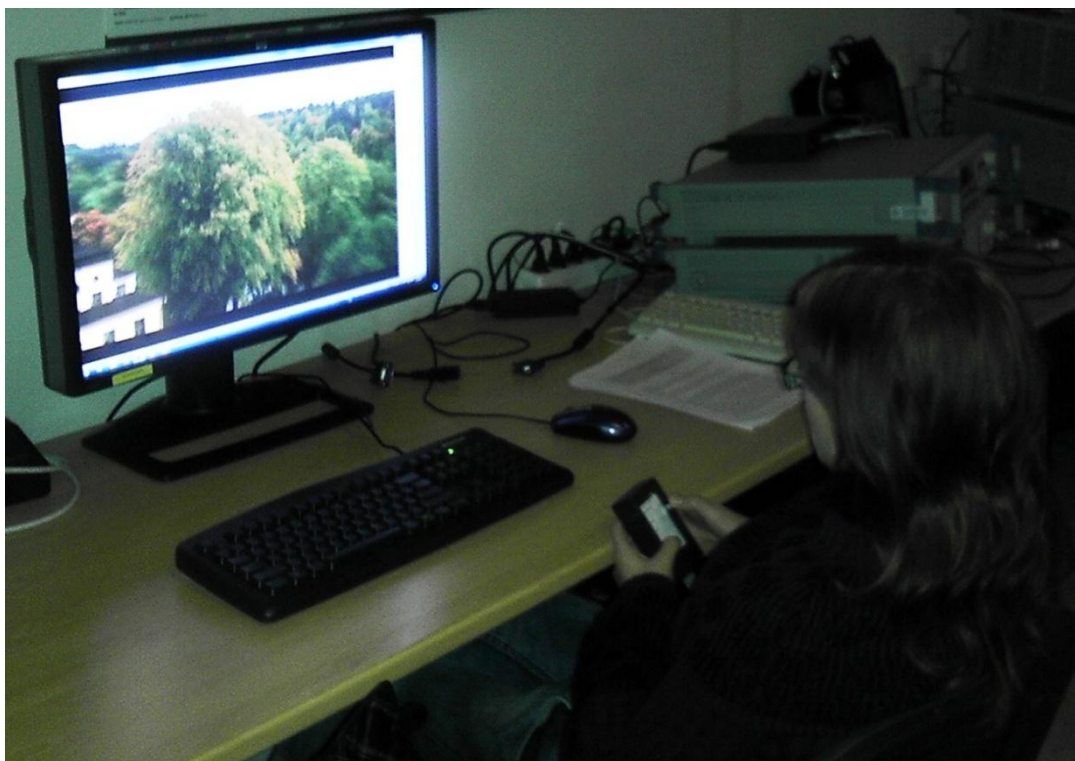
Scény videosekvencí jsou dynamicky velmi rozdílné. Jsou použité od velmi dynamické až po téměř statickou scénu. Množství jemných detailů a barevnost scény je také velmi rozmanitá. Bližší popis videí je v Tab. 5.2.

Při poškození videosekvencí šumem by se hodnocení pro jednotlivé sekvence nemělo příliš lišit. To je dáno tím, že šumem jsou postiženy všechny pixely a poškození nezávisí na obsahu scény. Tato problematika je detailně popsána v [6]. Rozdíl je jen v tom, jak struktura scény dokáže šum maskovat. To je vidět zejména na obrázku Obr. 5.7 d) a Obr. 5.8 d). Na Obr. 5.7 d) je šum mírně patrný na kole traktoru. Na poli je dobře maskovaný. Na celém Obr. 5.8 d) je šum výraznější. Stromy jej ale také částečně svou strukturou maskují.

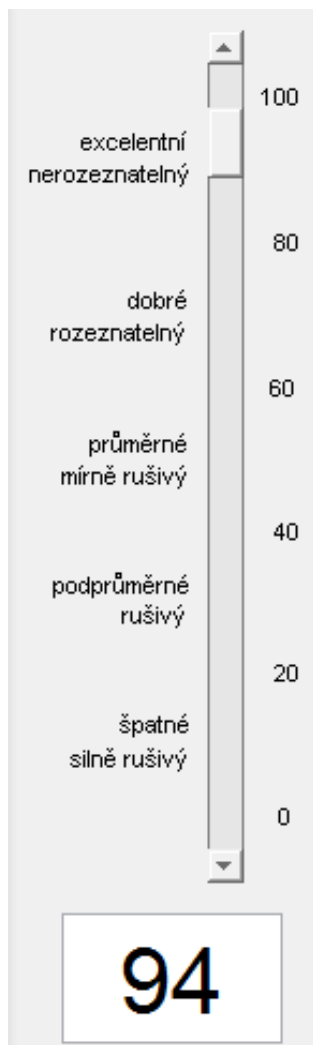
6 Testování

Hodnocení se účastnili lidé ve věku 21 – 25 let, převážně technického vzdělání. Testů se zúčastnili tři ženy a pět mužů bez technického vzdělání. Proběhly celkem čtyři typy hodnocení. Hodnocení videosekvencí metodou SS a DSIS pro poškození komprimací a šumem. Asi dvě třetiny hodnotících uživatelů se zúčastnily více než jednoho hodnocení, ale vždy odlišného. Zbytek se hodnocení zúčastnil pouze jednou. Celkově se každého typu hodnocení zúčastnilo 15 pozorovatelů.

Testování probíhalo v počítačové učebně se změřenou průměrnou úrovní osvětlení 50 Lux. Každý pozorovatel měl vlastní počítač a k němu pomocí USB připojený elektronický potenciometr. Elektronické potenciometry poskytl vedoucí práce. Tyto potenciometry se používaly již dříve ve výzkumné laboratoři MDTV (Digitální televizní a rozhlasové systémy) a MVDK (Videotechnika a multimediální technika). Příklad dřívějšího užití je v [10]. Jas monitoru při bílé barvě byl dle doporučení ITU [4] 150 cd/m.



Obr. 6.1 Ukázka pracoviště při hodnocení pomocí potenciometru.



a) Výřez slideru z hlavního programu



b) Elektronický potenciometr

Obr. 6.2 Použité nástroje k hodnocení. a) softwareový b) hardwareový.

Před samotným hodnocením se otestuje pozorovatelův zrak programem *Barvocit*. Po úspěšném absolvování testu následuje seznámení s průběhem a stylem hodnocení. Aby se pozorovatel seznámil s ovládáním programu, je v hlavním programu první položka menu *SS Test*. Ta přehraje a nechá ohodnotit několik videosekvencí. Poté mají pozorovatelé možnost se na cokoliv zeptat. Následuje již samotné hodnocení videosekvencí.

To se skládá ze dvou částí. Hodnocení pomocí potenciometru Obr. 6.2 b) a pomocí slideru Obr. 6.2 a). Hlavní rozdíl mezi oběma způsoby je ten, že u hodnocení pomocí slideru pozorovatel vidí přesně zadanou hodnotu. U potenciometru není možno vidět přesně zadanou hodnotu, protože je na něm vyznačená stupnice po 20%, viz Obr. 3.1. Způsob hodnocení odpovídá metodě SS viz kapitola 3.3, nebo metodě DSIS viz kapitola 3.1.

Po stisknutí tlačítka *Start* se spustí hodnocení videosekvencí vybrané v menu programu. Polovina uživatelů začíná hodnotit pomocí slideru. Druhá polovina hodnotí potenciometrem. Pozorovateli se pouští 10 vteřinové hodnocené videosekvence, které jsou odděleny 3 vteřinovou šedou sekvencí. Prvních šest videosekvencí se nehodnotí a slouží pouze k ustálení názoru pozorovatele (v případě metody DSIS je to šest párů videosekvencí). Jsou různých kvalit, od nejlepší po nejhorší v náhodném pořadí. Hodnocené videosekvence jsou přehrávány také v náhodném pořadí. Po přehrání poslední hodnocené videosekvence, se zobrazí informace o konci hodnocení a výsledky se zapíší do excelovského souboru. Následuje přestávka na odpočinek pozorovatele. Poté se pozorovateli pustí testovací prezentace, které je hodnocená stejnou metodou (SS nebo DSIS) a se stejným poškozením (kompresí nebo šumem), ale hodnotí ji druhým způsobem. Videosekvence jsou ale v jiném pořadí.

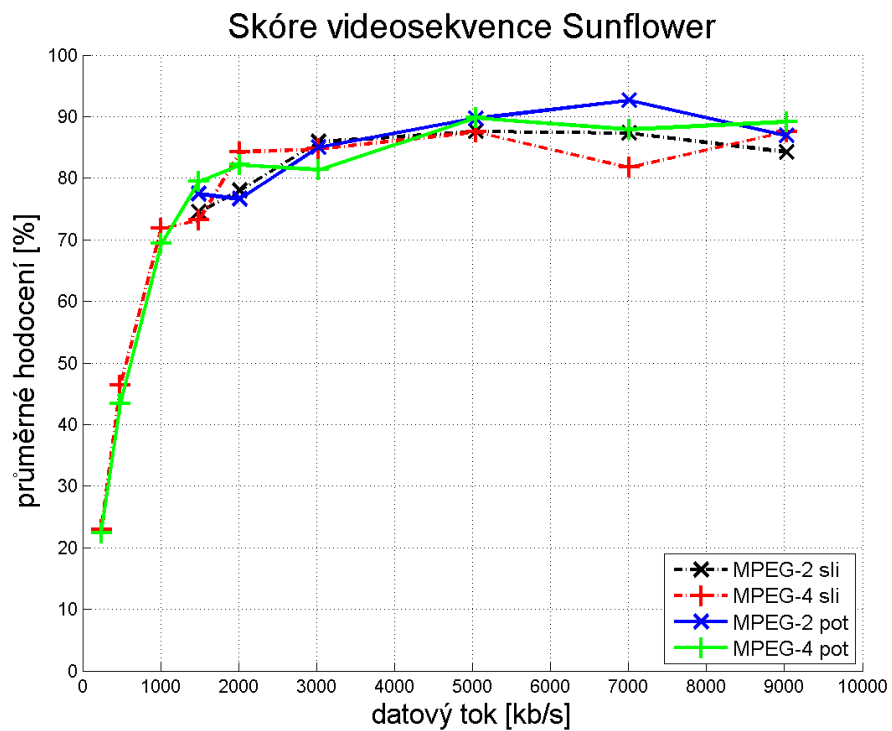
7 Získané výsledky

Výsledky se zpracovávají pomocí několika m-souborů v MATLABu. Nejprve se výsledky od jednotlivých pozorovatelů seřadí. To je nutné pro další zpracování, především pro snadnější indexaci pro zobrazení grafů. Následně se vypočte průměrné skóre jednotlivých videosekvencí dle vztahu (4.1). Dále se vypočte standardní odchylka, vztah (4.4), a důvěrný interval dle vztahu (4.2). Ten slouží k zpřesnění výsledků a odstranění nesprávně hodnocených videosekvencí. To například může vzniknout nepřehráním videosekvence, nebo nepozorností pozorovatele. Nakonec se vypočte korigovaný průměr. Následně se výsledky graficky zobrazí.

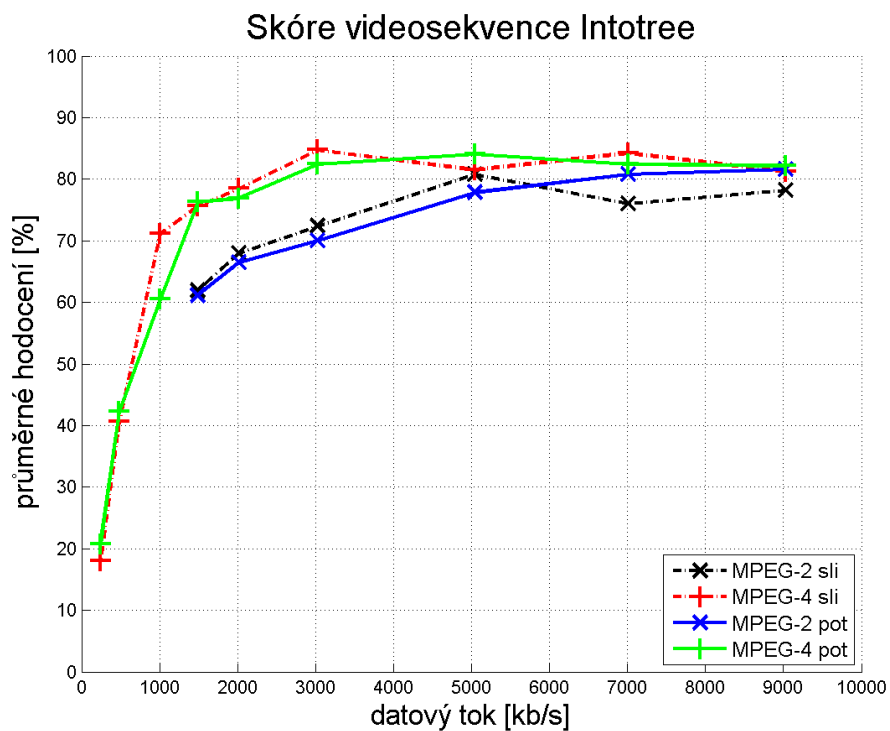
7.1 Výsledky metody SS pro poškození kompresí

Na obrázcích *Obr. 7.1* až *Obr. 7.5* jsou graficky zobrazeny výsledky hodnocení videosekvencí. V jednom grafu jsou zobrazeny výsledky pro kodek MPEG-2 i pro kodek MPEG-4 a to získané pomocí potenciometru i pomocí slideru. *Sli* a *pot* v legendách označují metodu, kterou byla data získána. *Sli* je pomocí slideru a *pot* pomocí potenciometru. Na těchto obrázcích je vidět, že rozdíl v hodnocení pomocí slideru a potenciometru není velký. Rozdíl je v průměru 3 %.

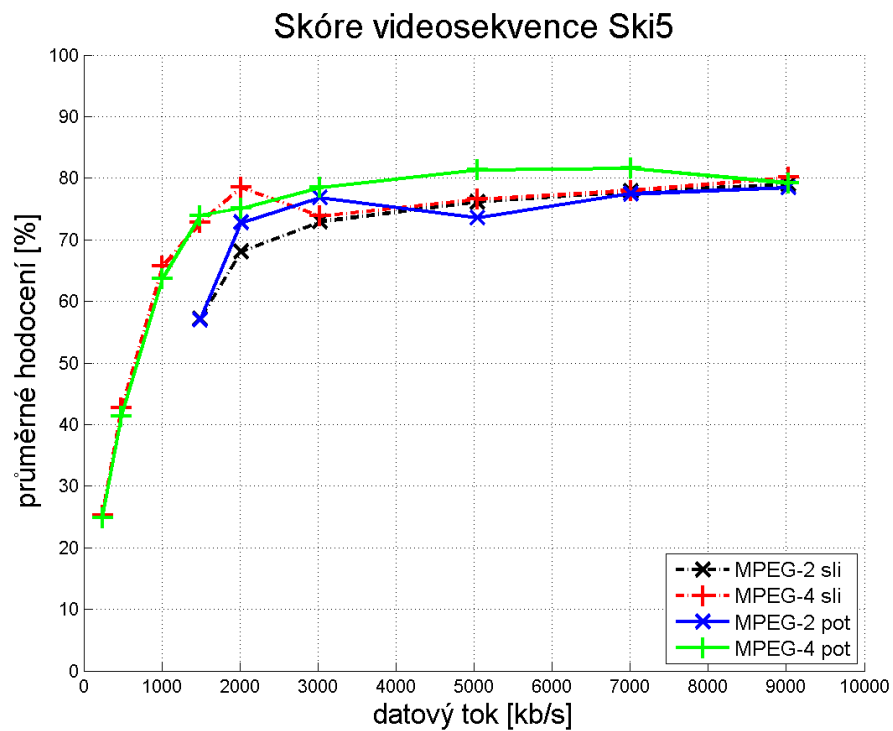
Dle předpokladu a [13] je na obrázcích *Obr. 7.1* až *Obr. 7.5* jasně vidět rozdíl mezi kodeky. Kodek MPEG-2 dostal téměř ve všech případech nižší hodnocení. Výjimkou je videosekvence *Sunflower Obr. 7.1*. Rozdíl mezi kodeky se zvyšuje s dynamikou videosekvence. Proto je mezi kodeky největší rozdíl u videosekvence *Parkjoy*.



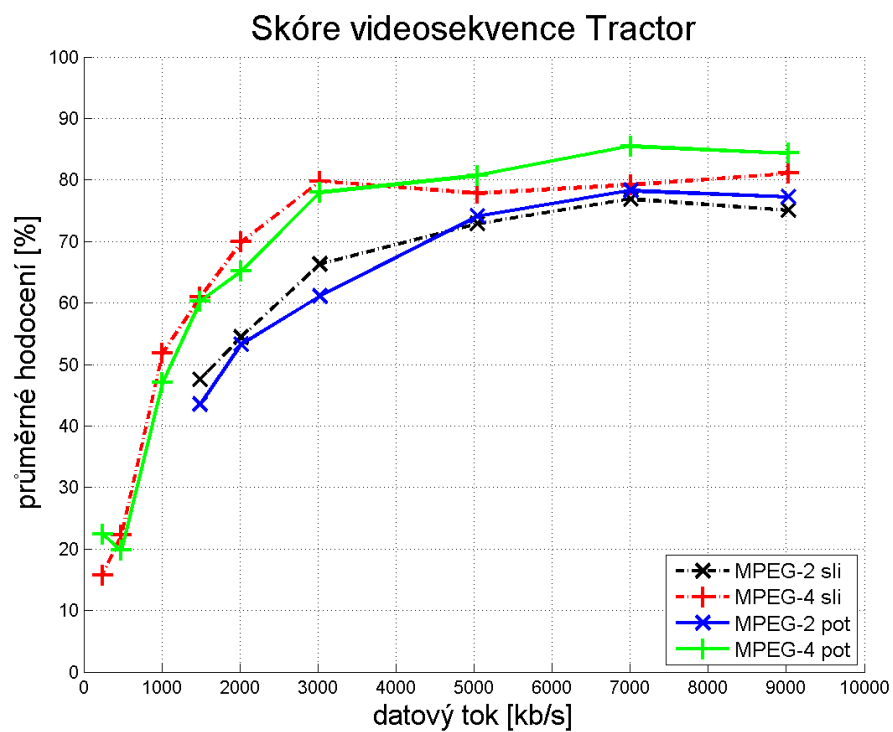
Obr. 7.1 Průměrné skóre videosekvence "Sunflower".



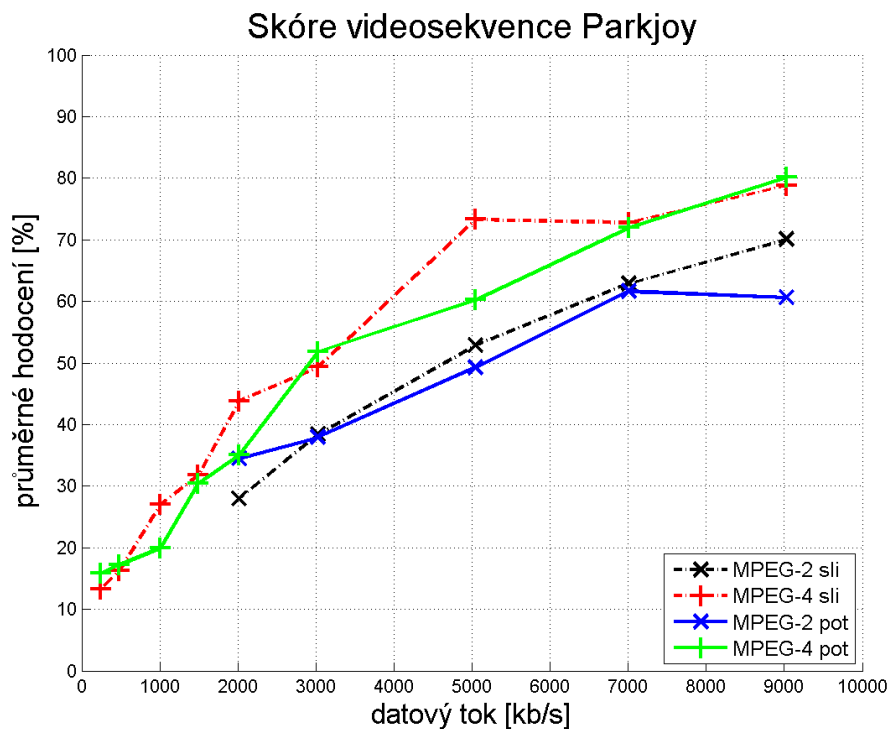
Obr. 7.2 Průměrné skóre videosekvence "Intotree".



Obr. 7.3 Průměrné skóre videosekvence “Ski5”.



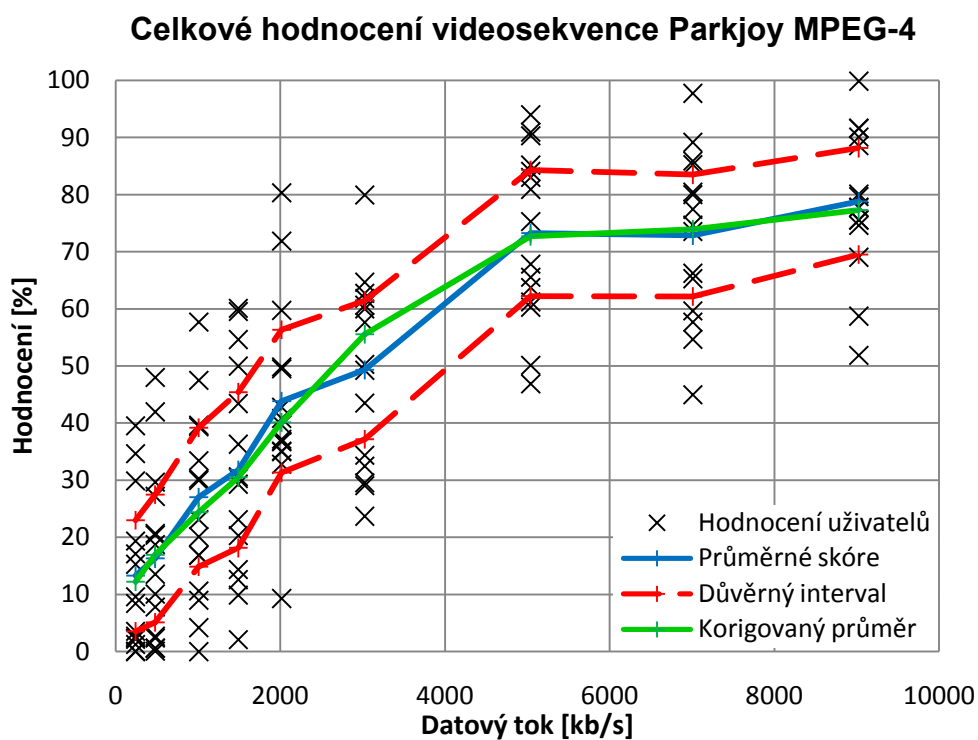
Obr. 7.4 Průměrné skóre videosekvence “Tractor”.



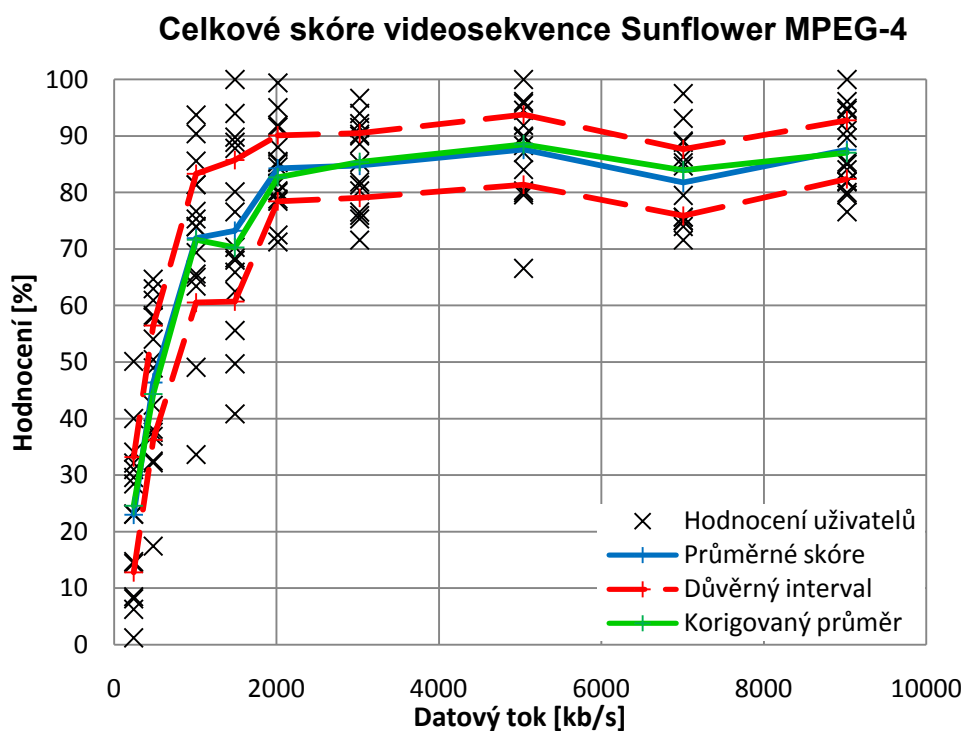
Obr. 7.5 Průměrné skóre videosekvence “Parkjoy”.

Na Obr. 7.6 až Obr. 7.8 je zobrazeno celkové hodnocení videosekvencí s nejzajímavějšími výsledky. S nejrychleji klesajícím hodnocením, *Parkjoy*. Naopak nejpomaleji klesající videosekvence *Sunflower* je zobrazena na Obr. 7.7. Pro všechny grafy jsou data získána pomocí slideru. Z obou grafů je patrné, že názory pozorovatelů na kvalitu videosekvence jsou velmi rozdílné. Největší rozdíl v hodnocení je při “střední” kvalitě obrazu. Naopak rozptíl hodnocení je menší u silně poškozených nebo naopak velmi slabě poškozených videosekvencí. Tyto rozptyly jsou lépe zobrazeny na Obr. 7.9 a Obr. 7.10. Z těchto histogramů je patrné, že rozptyl hodnocení má přibližně tvar Gaussovi křivky. Tento tvar by lépe vynikl při větším počtu pozorovatelů. Z grafů je také patrné, že důvěrný interval je přímo úměrný rozptylu hodnocení pozorovatelů.

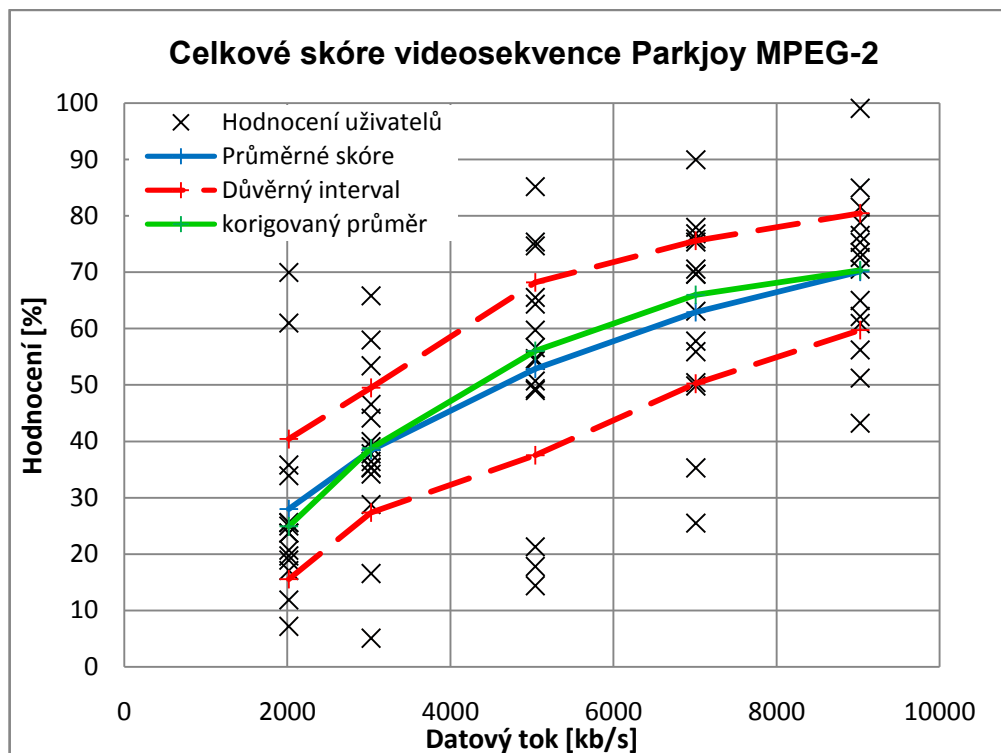
Rozdíl mezi průměrným skóre a korigovaným průměrem není příliš velký. Pro všechny videosekvence je průměrný rozdíl těchto hodnot 1,5 %. To je dobře vidět na Obr. 7.7, kde je rozdíl nejmenší. Největší rozdíl je 6,25 %. Je zobrazen na Obr. 7.6. Tento rozdíl je z důvodu velkého rozptylu hodnocení od jednotlivých pozorovatelů.



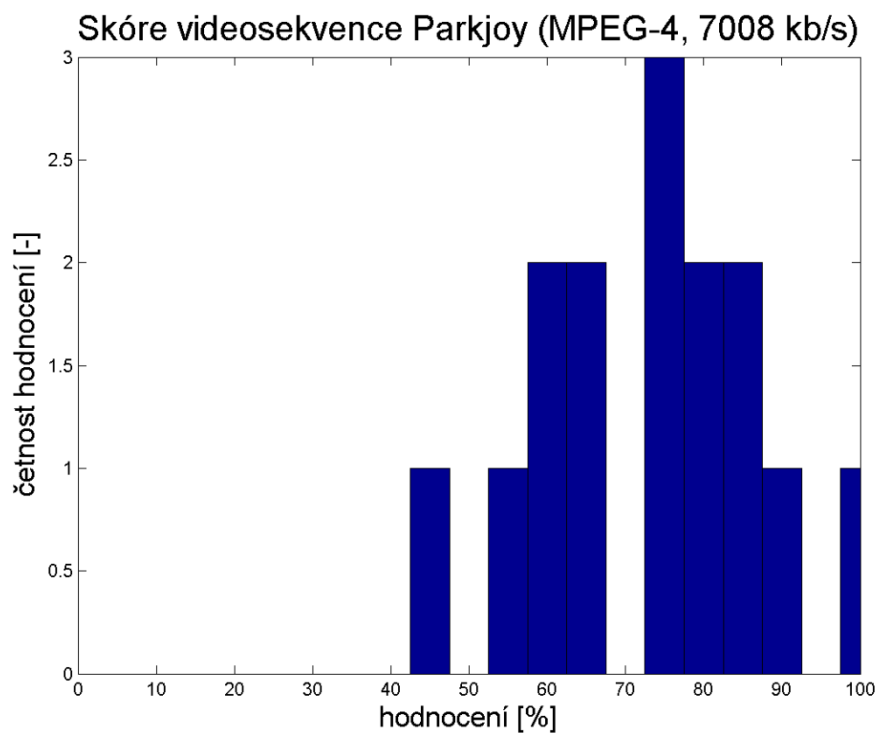
Obr. 7.6 Celkové hodnocení videosekvence "Parkjoy" komprimované kodekem MPEG-4.



Obr. 7.7 Celkové hodnocení videosekvence "Sunflower" komprimované kodekem MPEG-4.

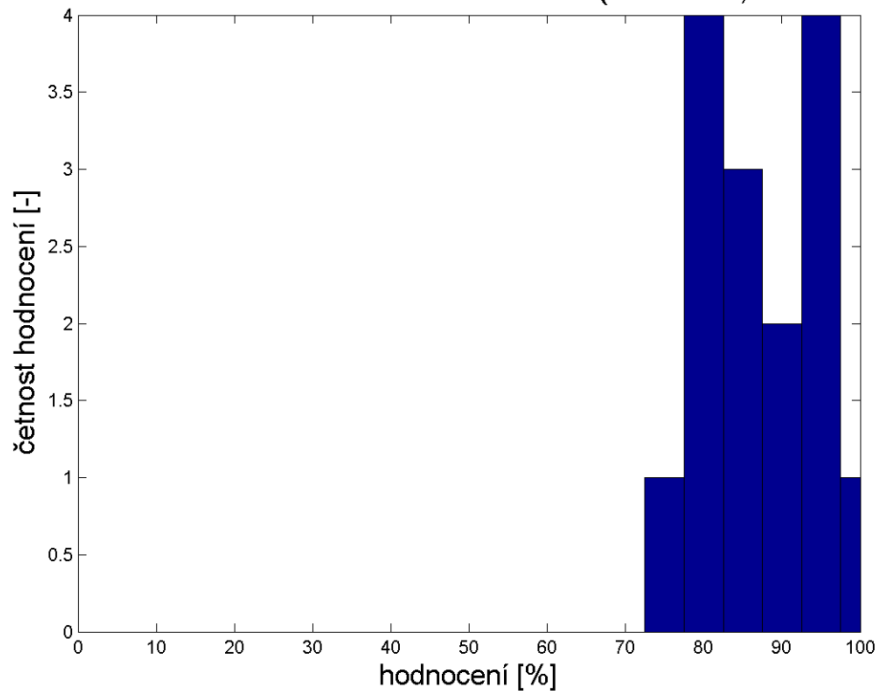


Obr. 7.8 Celkové hodnocení videosekvence "Parkjoy" komprimované kodekem MPEG-2.



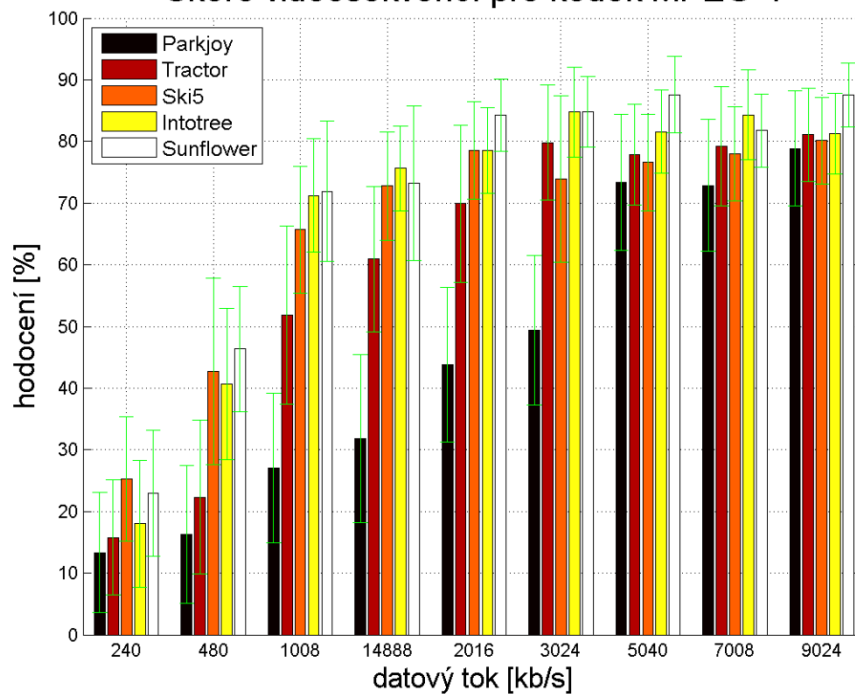
Obr. 7.9 Histogram hodnocení videosekvence "Parkjoy".

Hodnocení videosekvence Sunflower (MPEG-2, 9024 kb/s)



Obr. 7.10 Histogram hodnocení videosekvence "Sunflower".

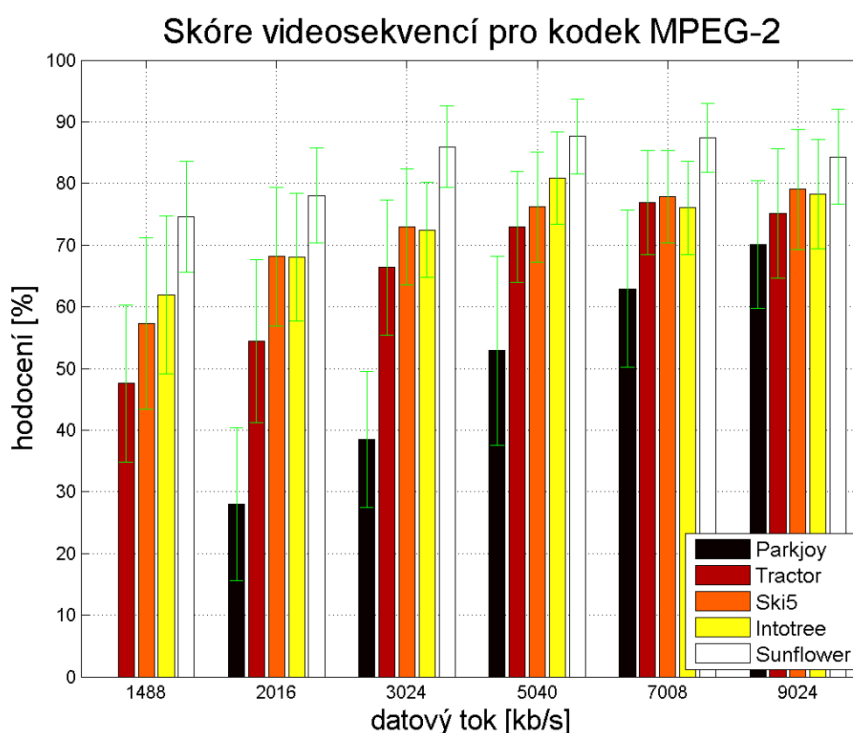
Skóre videosekvencí pro kodek MPEG-4



Obr. 7.11 Skóre videosekvencí komprimovaných kodekem MPEG-4.

Na Obr. 7.11 je zobrazeno průměrné skóre získané pomocí slideru pro všechny videosekvence komprimované kodekem MPEG-4. Na Obr. 7.12 totéž pro kodek MPEG-2. V grafech výška sloupce odpovídá průměrnému skóre a zelené ohraničení je důvěrný interval. Čím je interval menší, tím menší je rozptyl hodnocení od jednotlivých uživatelů. Z obrázků je dobře patrný rozdíl v průměrném hodnocení jednotlivých videosekvencí a rozptyl v hodnocení od jednotlivých uživatelů.

Především je vidět, jak rychle oproti jiným videosekvencím klesá hodnocení u videosekvence *Parkjoy* a to pro oba kodeky. Naopak hodnocení videosekvence *Sunflower* klesá nejpomaleji. To je vidět především u kodeku MPEG-2. To souvisí s obsahem videosekvence. Čím je videosekvence dynamičtější tím rychleji její hodnocení klesá.



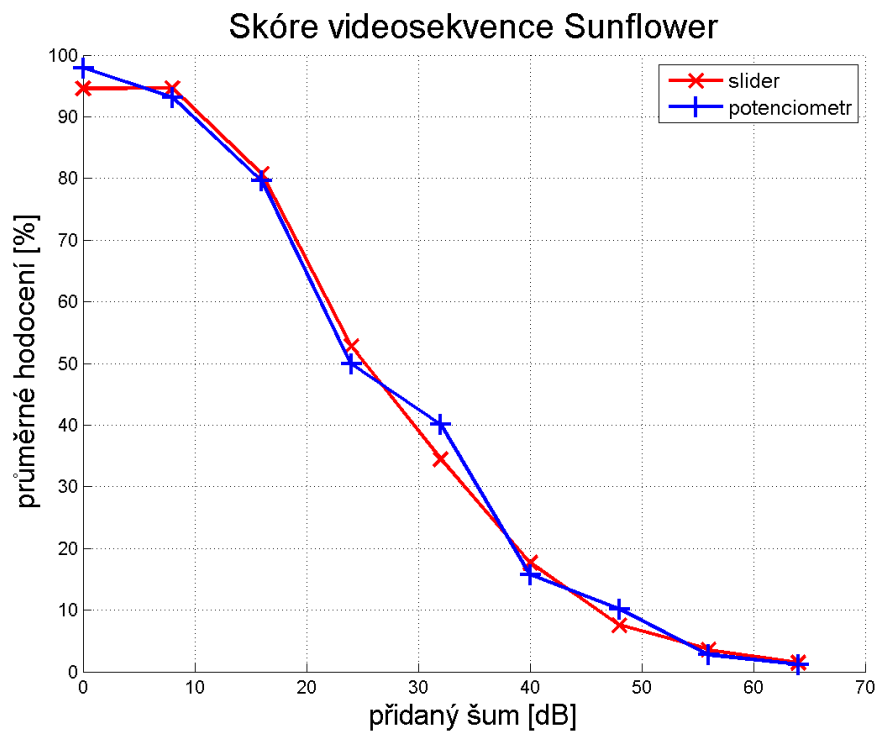
Obr. 7.12 Skóre videosekvencí komprimovaných kodekem MPEG-2.

7.2 Výsledky metody SS pro poškození přidáním šumu

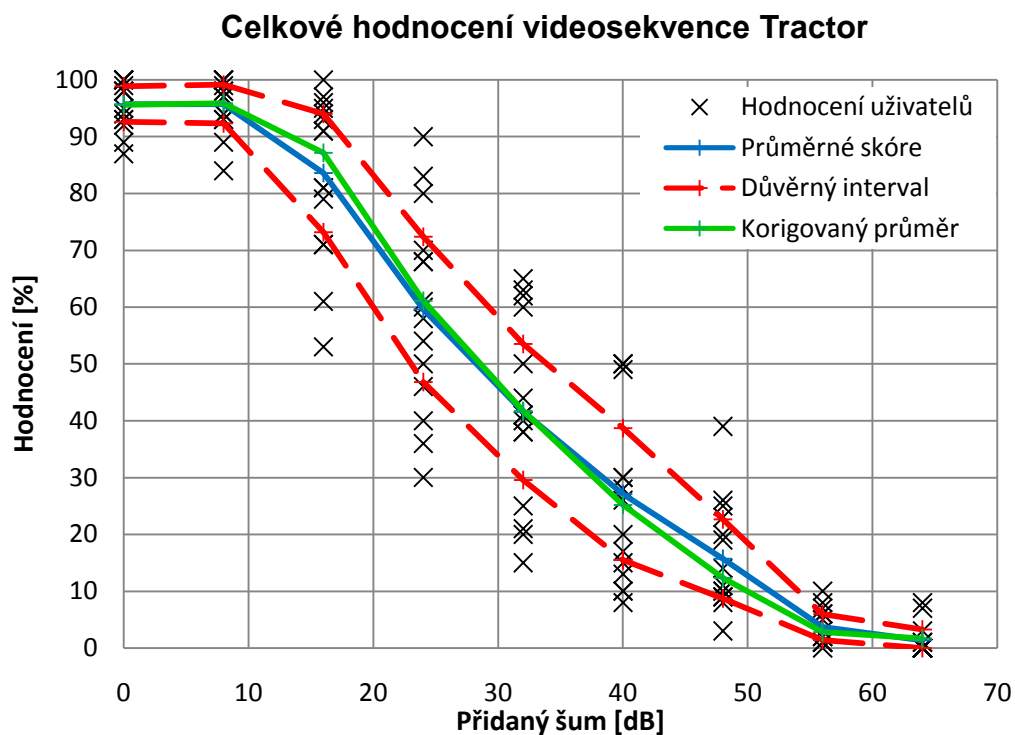
Na Obr. 7.13 a Obr. 7.14 jsou graficky zobrazeny výsledky hodnocení pro videosekvence poškozené přidáním šumu do obrazu. Je vidět, že rozdíl v hodnocení různých videosekvencí není velký. Rozdíl v hodnocení pomocí slideru a pomocí potenciometru také není velký. Tento vliv je podrobně rozebrán v kapitole 7.4. Na Obr. 7.13 je zobrazeno průměrné skóre videosekvence *Intotree*. Na hodnocení této videosekvence je nejlépe vidět rozdíl mezi hodnocením sliderem a potenciometrem. Rozdíl v hodnocení je u této videosekvence největší. Celkově dostala tato videosekvence střední hodnocení. Naopak nejmenší rozdíl v hodnocení mezi potenciometrem a sliderem je u videosekvence *Sunflower* Obr. 7.14. Tato videosekvence dostala pro nepoškozenou kvalitu nejvyšší hodnocení, které ale nejrychleji klesalo.



Obr. 7.13 Průměrné skóre videosekvence „Intotree“.



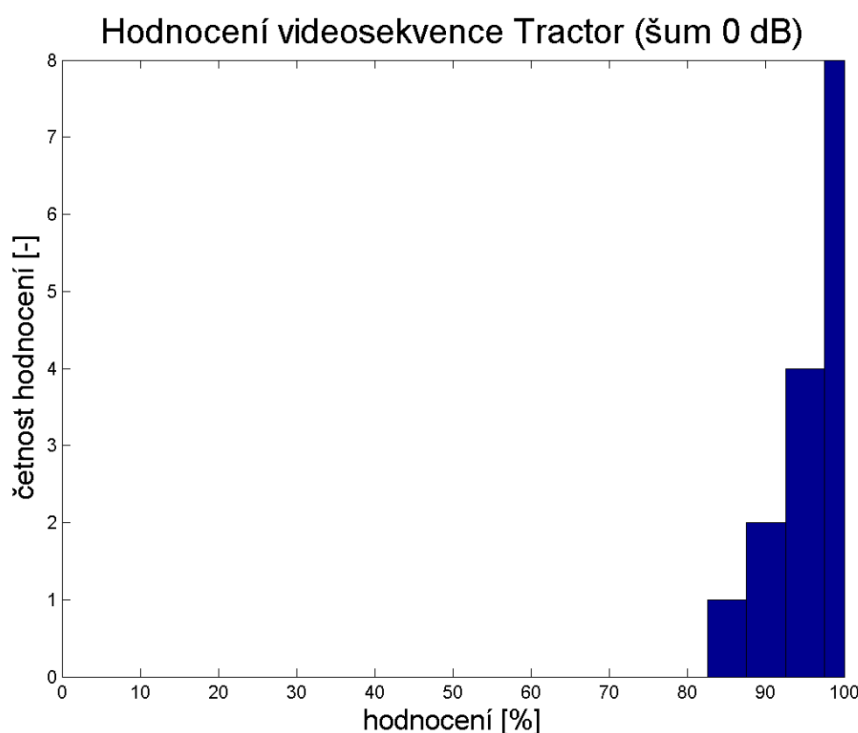
Obr. 7.14 Průměrné skóre videosekvence “Sunflower”.



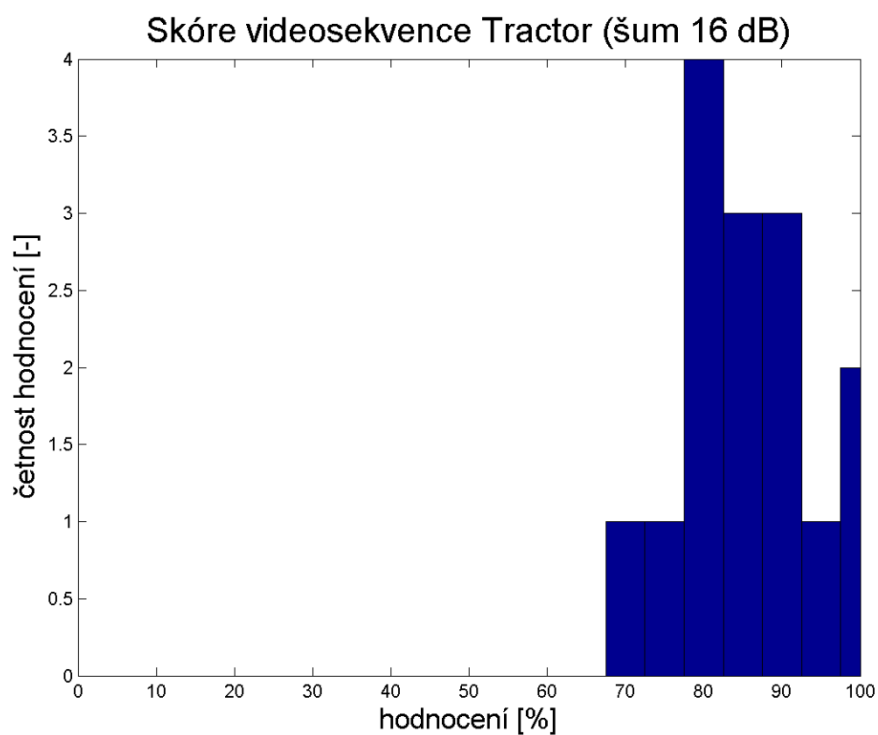
Obr. 7.15 Celkové hodnocení videosekvence “Tractor” hodnocené pomocí slideru.

Celkové hodnocení pro jednu videosekvenci je zobrazeno na Obr. 7.15. Jedná se o videosekvenci *Tractor*. Tato videosekvence nejlépe maskovala přidaný šum a její hodnocení klesalo tudíž nejpomaleji. Z obrázku je vidět, že hodnocení od jednotlivých uživatelů má menší rozptyl, než hodnocení videosekvencí poškozených kompresí. Opět platí, že rozptyl hodnocení je menší pro kvalitní (Obr. 7.16), nebo naopak silně poškozenou videosekvenci (Obr. 7.18). Naopak velký rozptyl hodnocení je při “střední” kvalitě (Obr. 7.17).

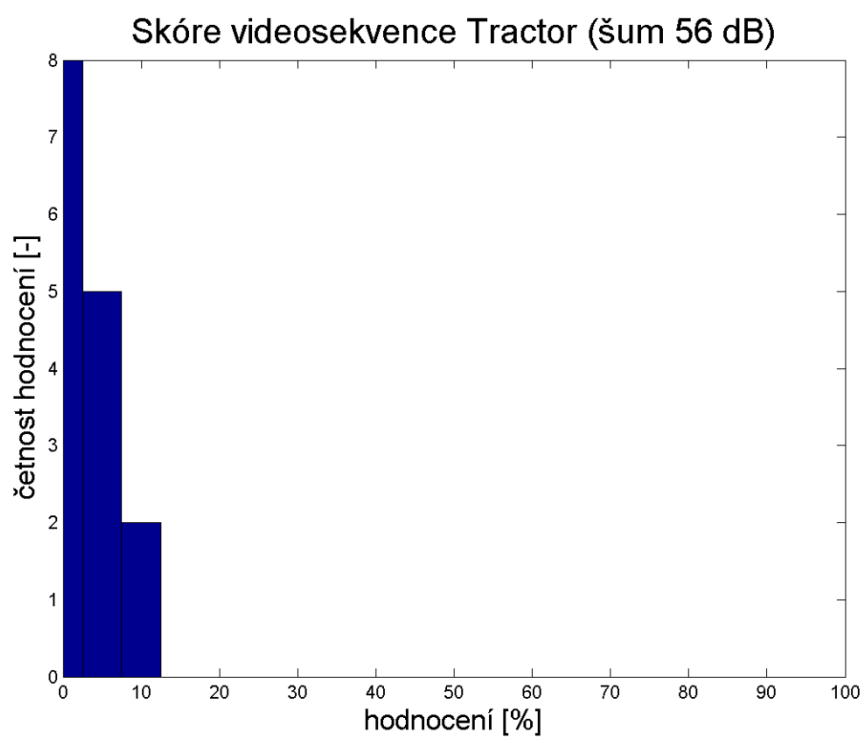
U videosekvencí poškozených šumem je rozdíl mezi průměrným skóre a korigovaným průměrem menší než u komprimovaných videosekvencí. Konkrétně se tyto hodnoty průměrně liší o 1,3 % (oproti 1,5 % pro komprimované videosekvence). Rozdíl je i v maximálním rozdílu těchto hodnot. U zašuměných videosekvencí je maximální rozdíl 5,8 % a u komprimovaných 6,25 %.



Obr. 7.16 Histogram hodnocení videosekvence “Tractor” pro nepřidaný šum.

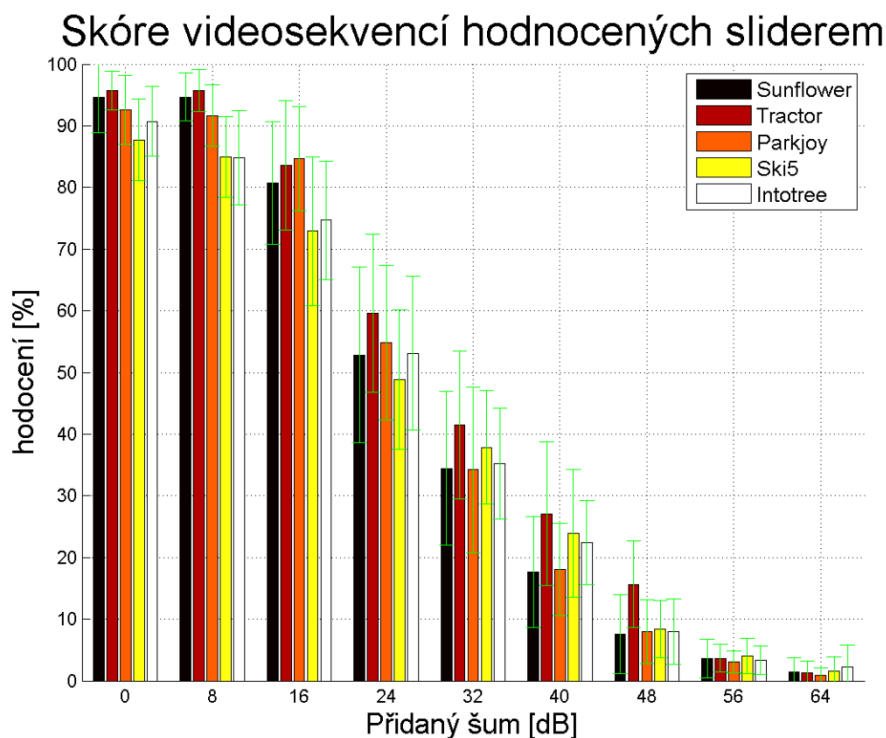


Obr. 7.17 Histogram hodnocení videosekvence “Tractor” pro přidaný šum 16 dB.



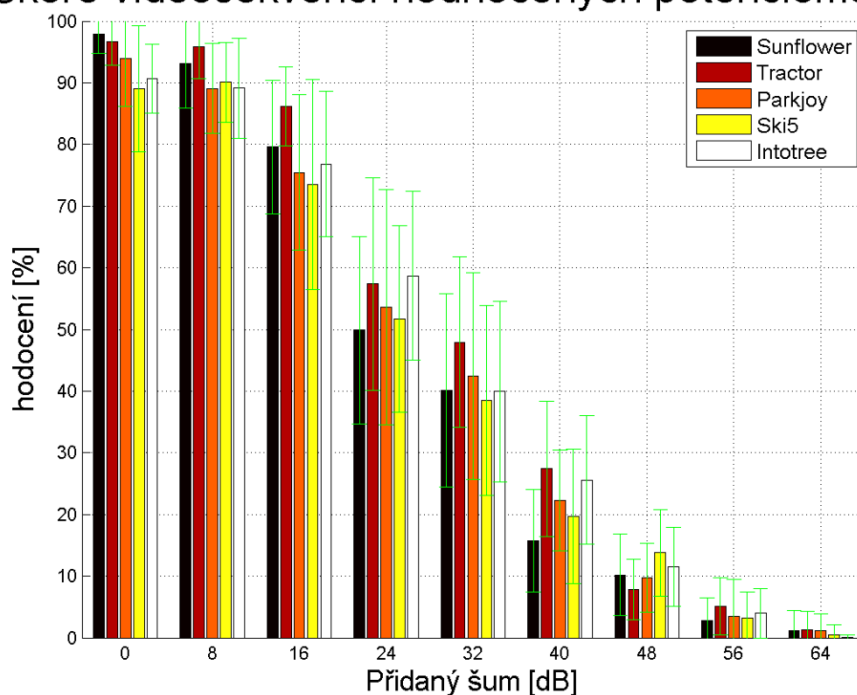
Obr. 7.18 Histogram hodnocení videosekvence “Tractor” pro přidaný šum 56 dB.

Detailní porovnání všech hodnocených videosekvencí je pro data získaná pomocí slideru na Obr. 7.19 pro data získaná pomocí potenciometru na Obr. 7.20. Z obrázků je vidět jak která videosekvence dokáže přidaný šum maskovat. Je vidět, že videosekvence *Tractor* maskuje šum nejlépe. Videosekvence *Sunflower* naopak nejhůře. Z obrázků je také vidět, že rozptyl hodnocení jednotlivých uživatelů je pro všechny videosekvence a daný parametr poškození přibližně stejný. Rozptylu hodnocení od uživatelů odpovídá zeleně zobrazený důvěrný interval. Rozptyl hodnocení je pro videosekvence poškozené šumem mnohem menší než u videosekvencí poškozených komprimací.



Obr. 7.19 Skóre Videosekvencí hodnocených pomocí slideru.

Skóre videosekvencí hodnocených potenciometrem

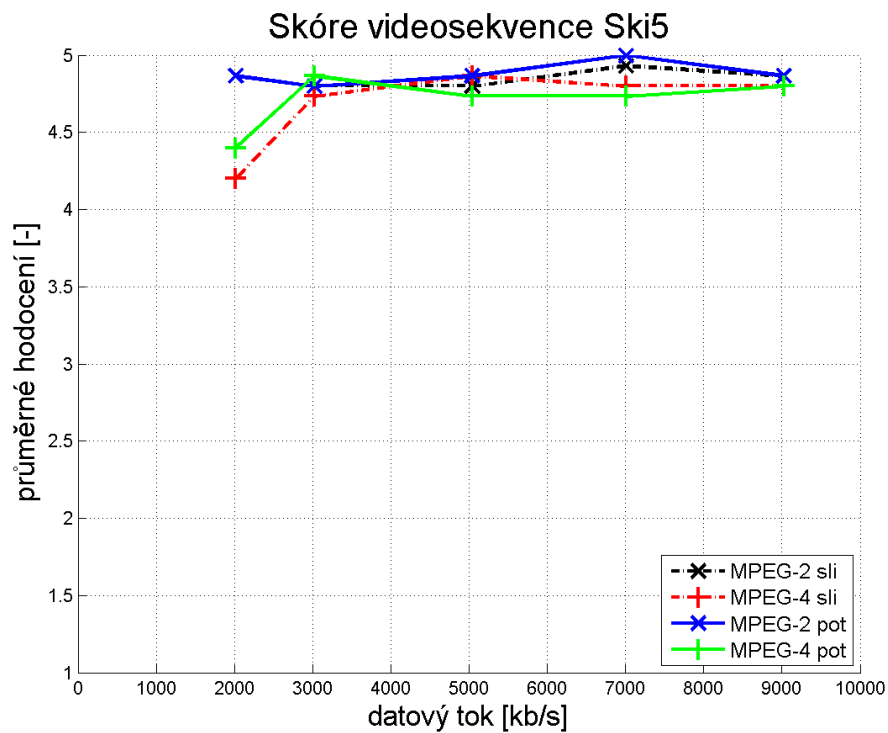


Obr. 7.20 Skóre videosekvencí hodnocených pomocí potenciometru. Výsledky metody DSIS pro poškození komprimací

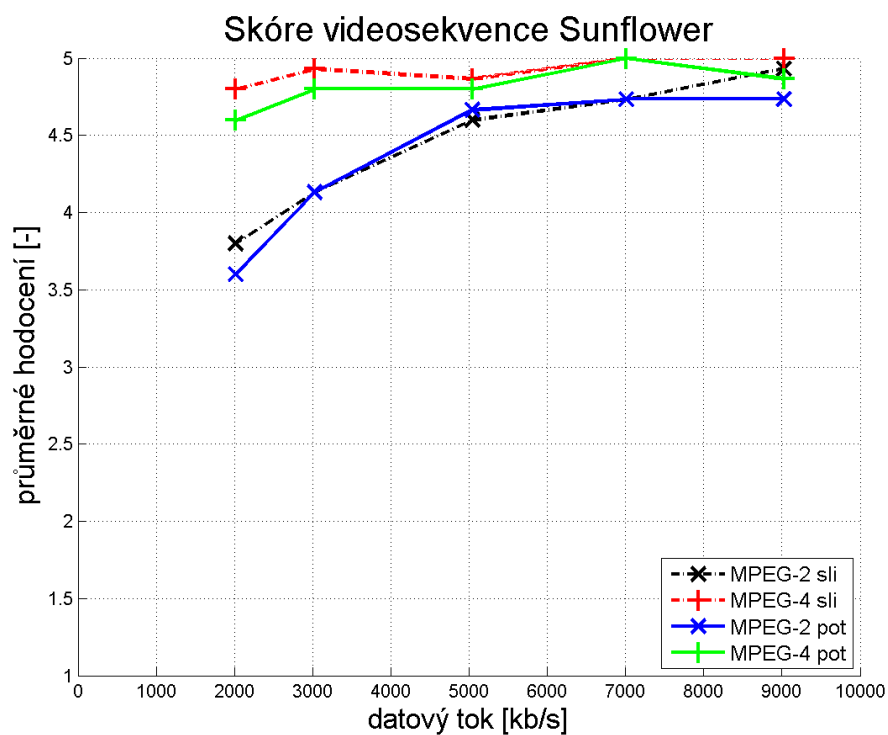
Na Obr. 7.21 až Obr. 7.25 jsou zobrazeny výsledky hodnocení videosekvencí poškozených komprimací metodou DSIS. Z grafů je vidět, že rozdíl v hodnocení jednotlivých videosekvencí je velký.

Videosekvence *Ski5* (Obr. 7.21) má výsledné hodnocení pro všechny užité datové toky a oba kodeky téměř konstantní. Z toho vyplývá, že rozdíl mezi originální a komprimovanou videosekvencí byl pro pozorovatele nepozorovatelný. To platí i pro videosekvence *Sunflower* (Obr. 7.22) a *Intotree* (Obr. 7.23), ale pouze pro kodek MPEG-4. U kodeku MPEG-2 již pozorovatelé rozdíl od originální videosekvence pozorovali. Tento rozdíl se se snižujícím datovým tokem zvětšoval, což se projevilo na výsledném hodnocení.

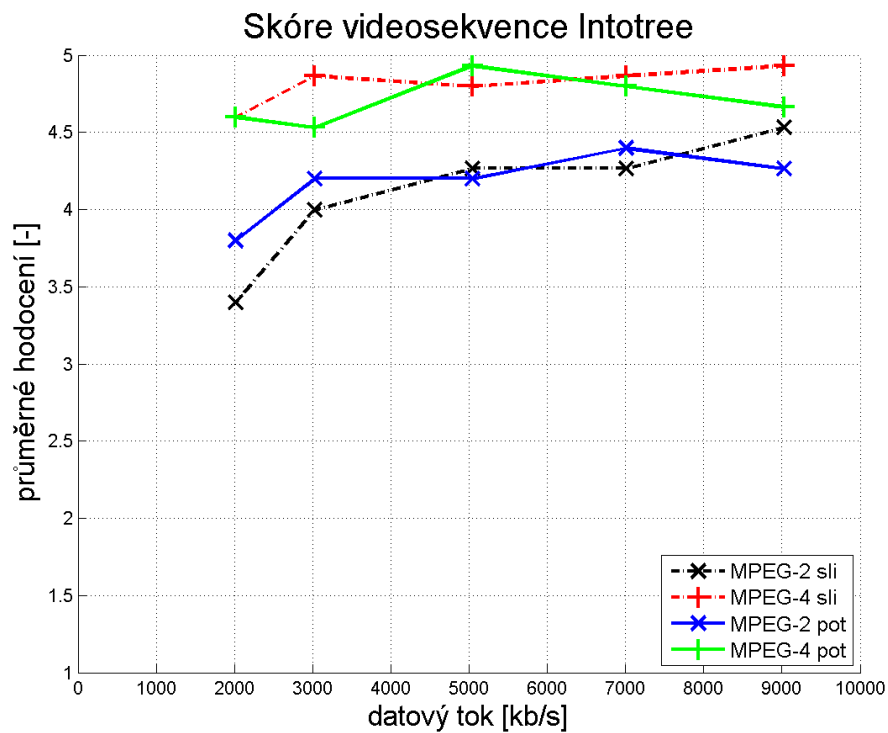
Vliv způsobu hodnocení (pomocí slideru nebo potenciometru) je podrobně rozebrán v kapitole 7.4.



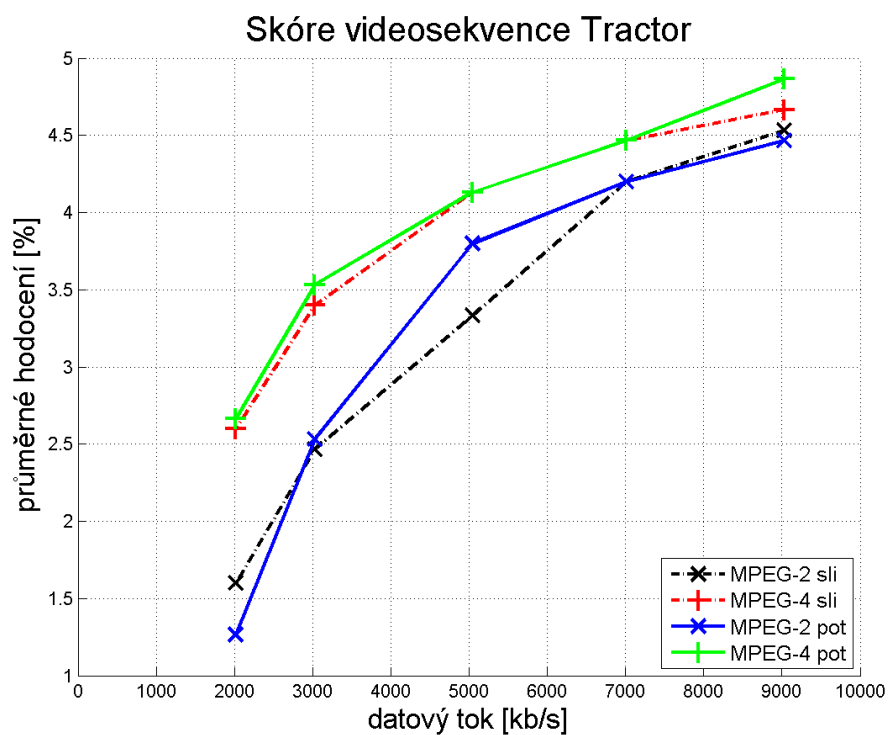
Obr. 7.21 Skóre videosekvence “Ski5”.



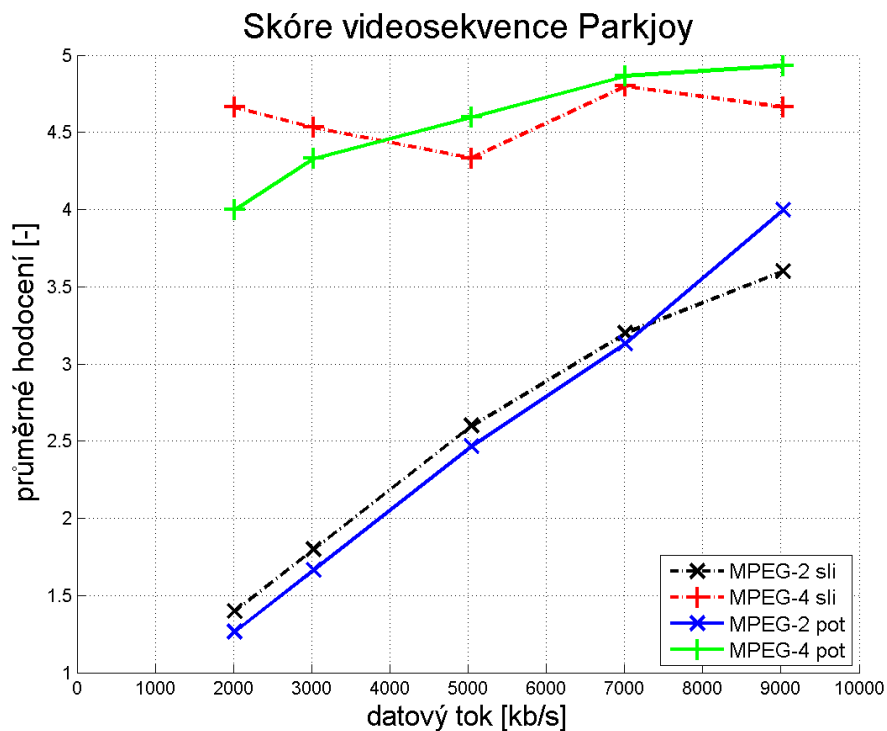
Obr. 7.22 Skóre videosekvence “Sunflower”.



Obr. 7.23 Skóre videosekvence “Intotree”.

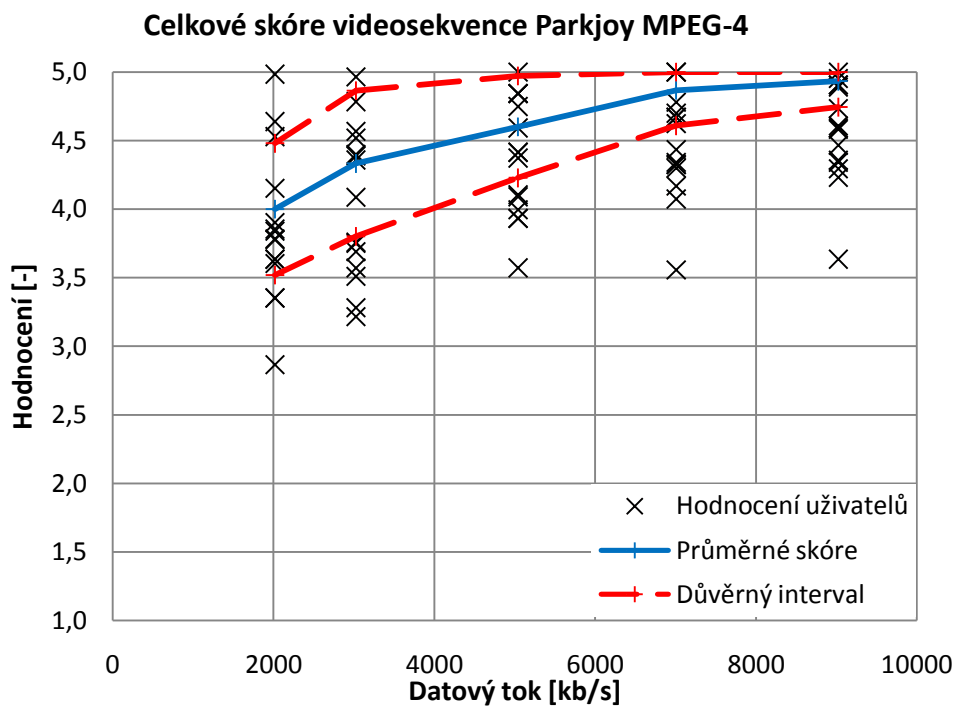


Obr. 7.24 Skóre videosekvence “Tractor”.



Obr. 7.25 Skóre videosekvence "Parkjoy".

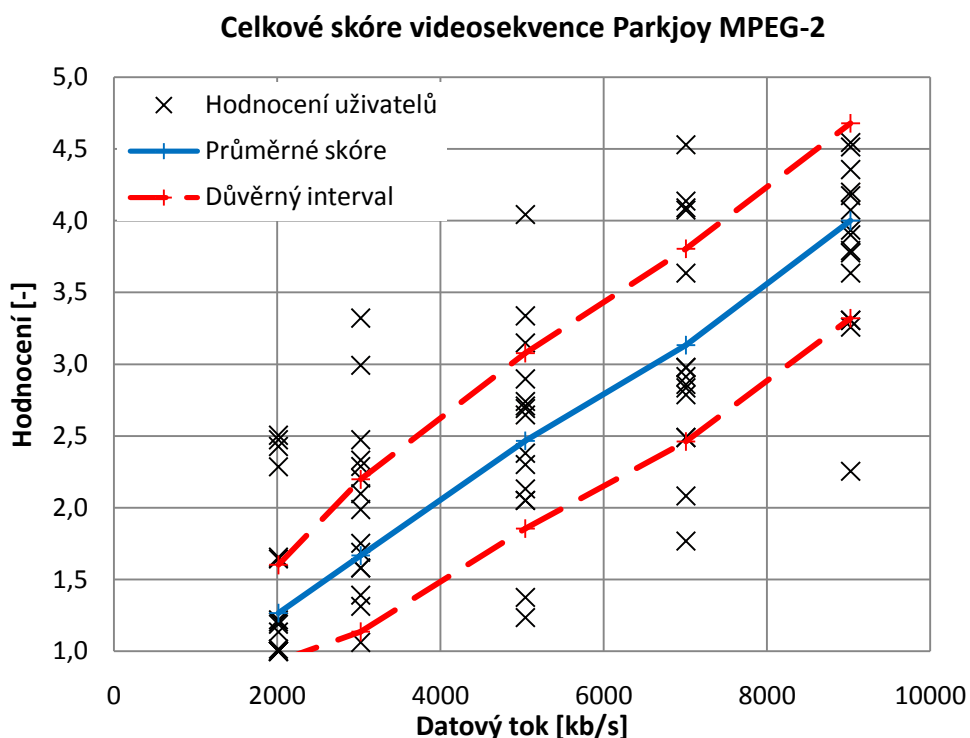
U videosekvencí *Tractor* (Obr. 7.24) a *Parkjoy* (Obr. 7.25) pozorovatelné rozdíly mezi originální a komprimovanou videosekvencí pozorovali i pro kodek MPEG-4 především se snižujícím se datovým tokem.



Obr. 7.26 Celkové skóre videosekvence "Parkjoy" MPEG-4.

Na Obr. 7.26 a Obr. 7.27 je zobrazeno celkové hodnocení videosekvence *Parkjoy* pro kodek MPEG-4 (Obr. 7.26) a pro kodek MPEG-2 (Obr. 7.27). Oba grafy jsou pro data získaná pomocí potenciometru. Hodnocení od jednotlivých pozorovatelů je zobrazeno plynule, ale získaná data se vyhodnocují pouze v pěti krocích viz Tab. 3.2. Korigovaný průměr se zde nepočítá, protože získaná data do důvěrného intervalu nezapadají. Důvěrný interval zde slouží jako ukazatel rozptylu hodnocení od jednotlivých uživatelů.

Na Obr. 7.27 je vidět, že rozptyl hodnocení je u metody DSIS mnohem větší než u metody SS. Hodnocení kvality videosekvencí s rostoucím poškozením klesá rychleji než u metody SS.



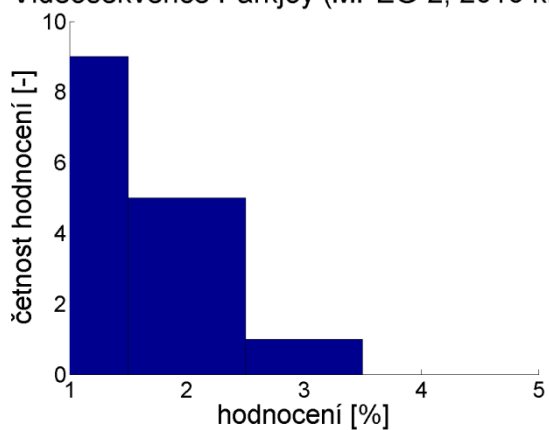
Obr. 7.27 Celkové skóre videosekvence "Parkjoy" MPEG-2.

Na Obr. 7.28 jsou zobrazeny histogramy hodnocení videosekvence *Parkjoy*, které odpovídají grafům na Obr. 7.26 a Obr. 7.27. Zde je již zobrazeno hodnocení, které odpovídá vyhodnocovanému. To znamená, že není plynulé, ale odpovídá pěti hodnotám hodnocení.

Opět zde platí, že videosekvence s malým poškozením, tedy malým rozdílem oproti originálu (Obr. 7.28 d)), a naopak videosekvence s velkým poškozením, velkým rozdílem oproti originálu (Obr. 7.28 a)), má menší rozdíl v rozptylu hodnocení od jednotlivých pozorovatelů, než videosekvence se "střední" kvalitou. Za střední kvalitu se považuje průměrné skóre v rozmezí 2 až 4.

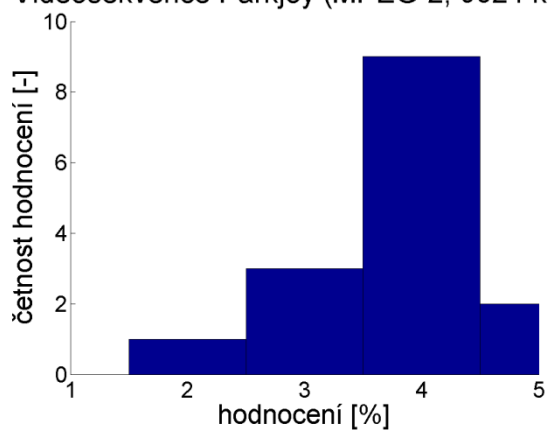
Je také vidět, že kodek MPEG-2 s datovým tokem 9024 kb/s (Obr. 7.28 b)) dostal stejné hodnocení s téměř stejným rozptylem hodnot hodnocení jako kodek MPEG-4 s datovým tokem 2016 kb/s (Obr. 7.28 c)).

Videosekvence Parkjoy (MPEG-2, 2016 kb/s)



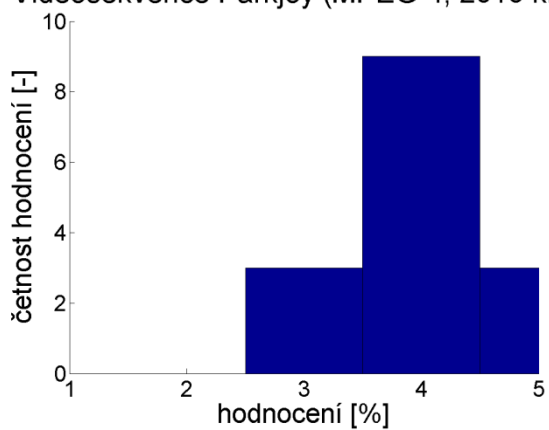
a) kodek MPEG-2 2016 kb/s

Videosekvence Parkjoy (MPEG-2, 9024 kb/s)



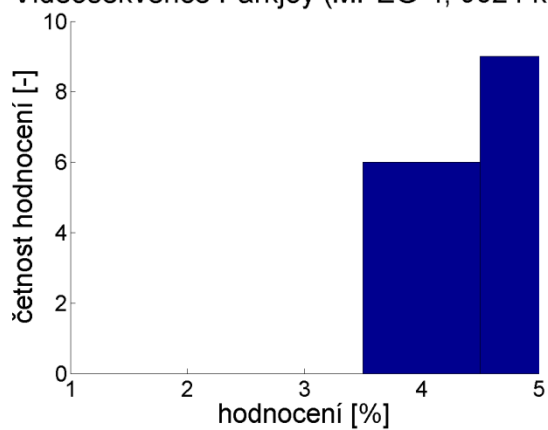
b) kodek MPEG-2 9024 kb/s

Videosekvence Parkjoy (MPEG-4, 2016 kb/s)



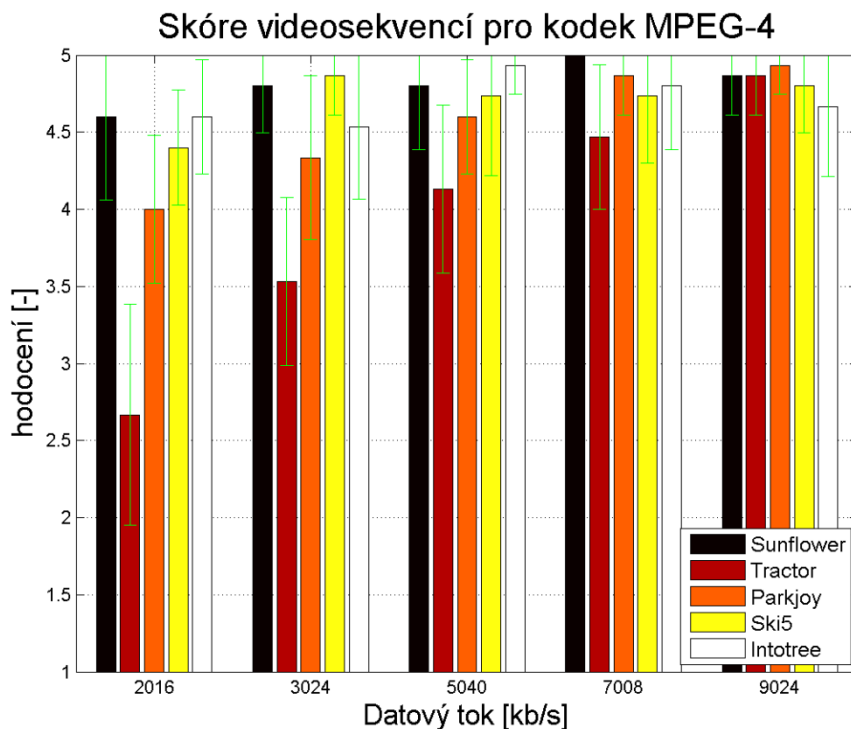
c) kodek MPEG-4 2016 kb/s

Videosekvence Parkjoy (MPEG-4, 9024 kb/s)



d) kodek MPEG-4 9024 kb/s

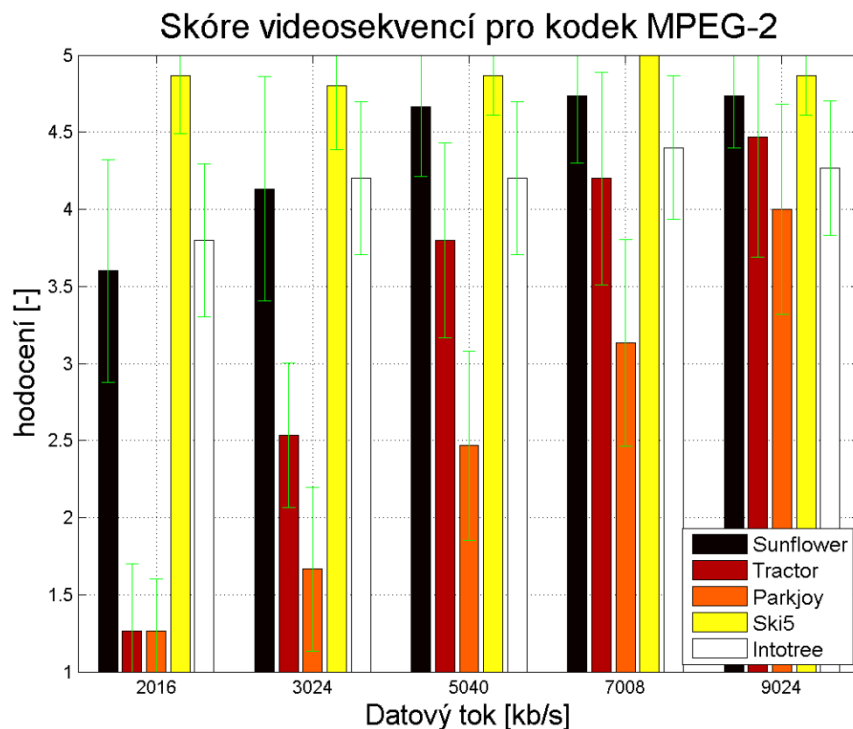
Obr. 7.28 Histogram hodnocení videosekvence "Parkjoy"



Obr. 7.29 Skóre videosekvencí komprimovaných kodekem MPEG-4.

Porovnání všech hodnocených videosekvencí pro kodek MPEG-4 na Obr. 7.29 a pro kodek MPEG-2 na Obr. 7.30. Zobrazená data byla získána pomocí potenciometru.

Z Obr. 7.29 je vidět, že hodnocení klesá s klesajícím datovým tokem. A to nejvíc u dynamických videosekvencí *Tractor* a *Parkjoy*. U videosekvence *Traktor* klesá hodnocení rychleji, pravděpodobně z důvodu zaměření pozorovatelů na detaily rychle se pohybujících částí návěsu. U videosekvence *Parkjoy* se pozorovatel nemá na co zaměřit. Videosekvence neobsahuje žádné jemné detaily ani ostré hrany. Ostatní videosekvence jsou statictější, a proto nejsou na datový tok tak náročné. I s klesajícím datovým tokem není rozdíl od originálu výrazný a jejich hodnocení klesá pomalu.



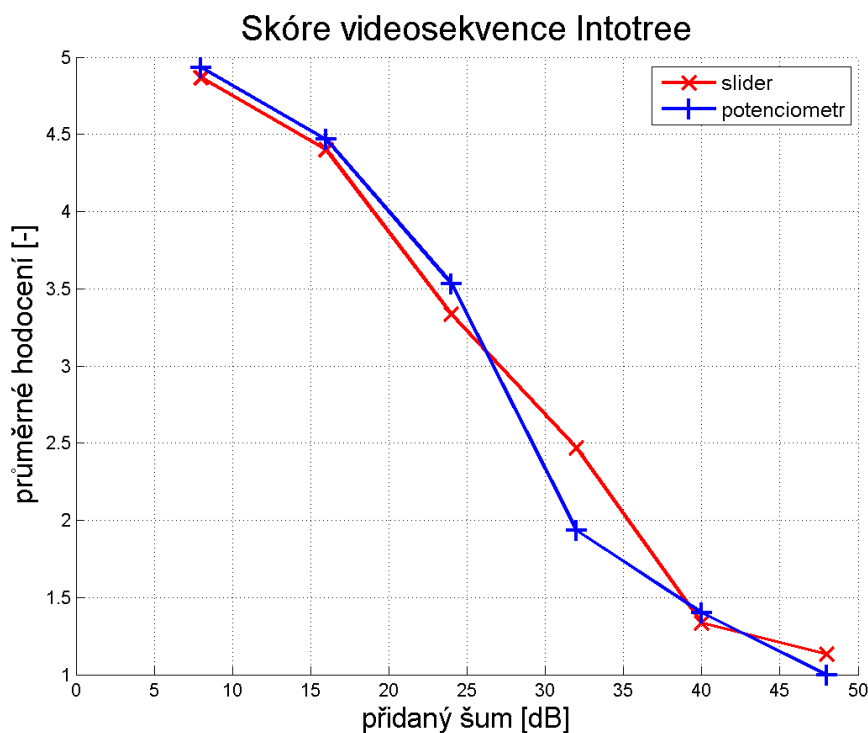
Obr. 7.30 Skóre videosekvencí komprimovaných kodekem MPEG-2

U kodeku MPEG-2 jsou rozdíly mezi hodnocením jednotlivých videosekvencí větší. Nejlepší hodnocení dostala videosekvence *Ski5*. To je způsobeno tím, že videosekvence obsahuje nejméně jemných detailů a obsahuje velkou, téměř jednolitou plochu sněhu. Proto se pozorovatel nemá na co zaměřit. Hodnocení videosekvence *Sunflower* klesá pozvolna, protože se jedná o téměř statickou videosekvenci, ale z důvodu velkého počtu jemných detailů se pokles datového toku projeví. U dynamických videosekvencí *Tractor* a *Parkjoy* klesá hodnocení velice rychle.

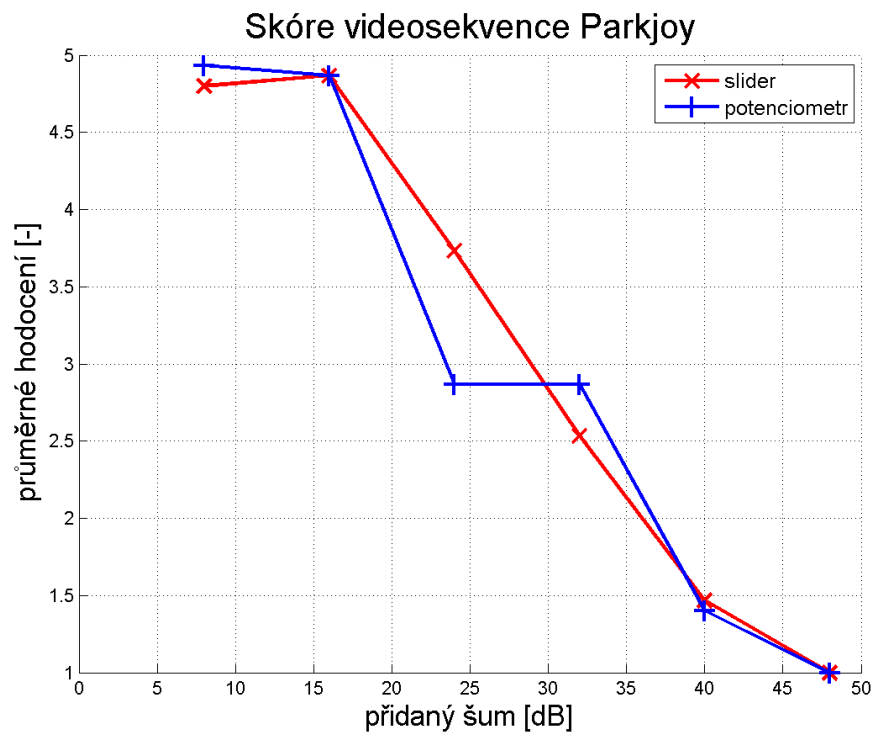
7.3 Výsledky metody DSIS pro poškození přidáním šumu

Na Obr. 7.31 až Obr. 7.33 jsou zobrazeny získané výsledky metodou DSIS. Je zde zobrazeno průměrné skóre získané pomocí slideru, tak pomocí potenciometru. Z těchto obrázků je patrné, že rozdíl mezi hodnocením sliderem a potenciometrem je zde v některých případech velký. U videosekvence *Sunflower* o téměř jeden krok pětibodové stupnice. Rozdíl mezi sliderem a potenciometrem je blíže popsán v kapitole 7.4.

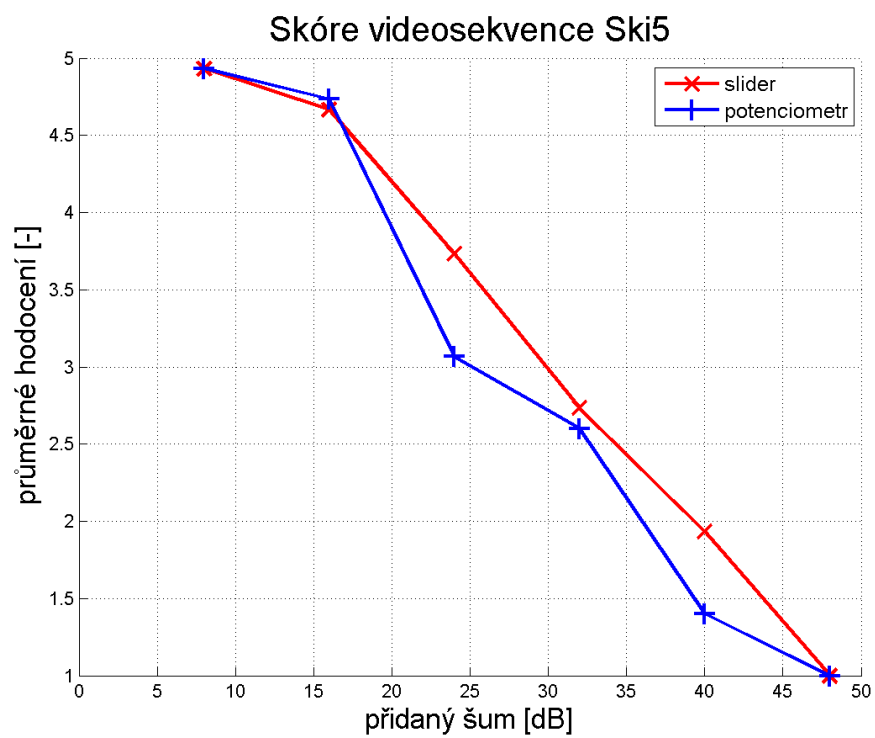
Dále je vidět, že hodnocení s přidáním šumem klesá. Toto klesání hodnocení je u metody DSIS rychlejší než u metody SS. To je dáno samotnou metodou. Pozorovatel zde nehodnotí kvalitu videodílků, ale její zhoršení od originální videosekvence.



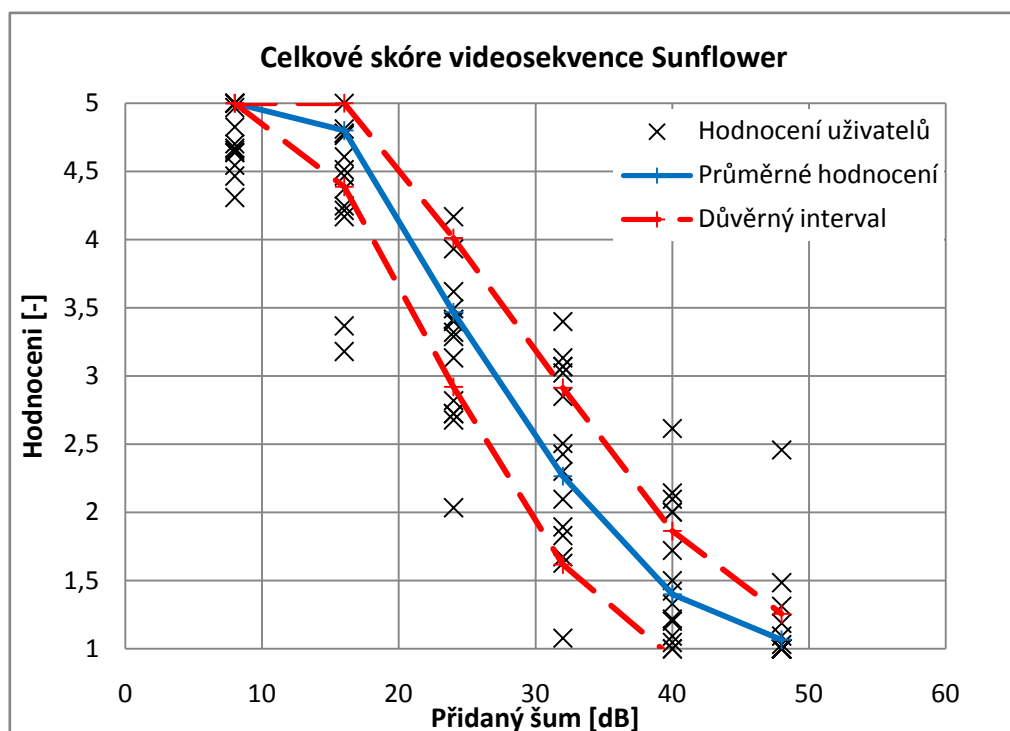
Obr. 7.31 Skóre videosekvence "Intotree".



Obr. 7.32 Skóre videosekvence "Parkjoy".



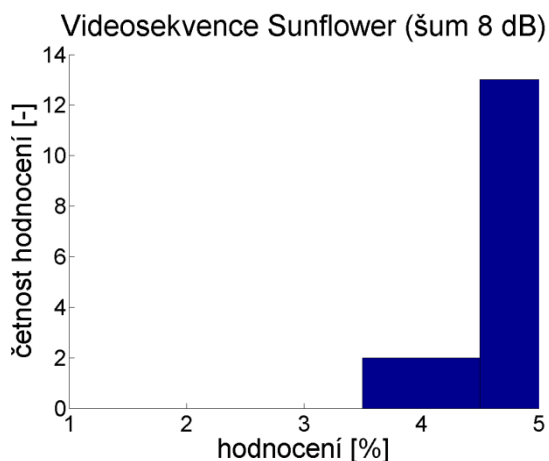
Obr. 7.33 Skóre videosekvence "Ski5".



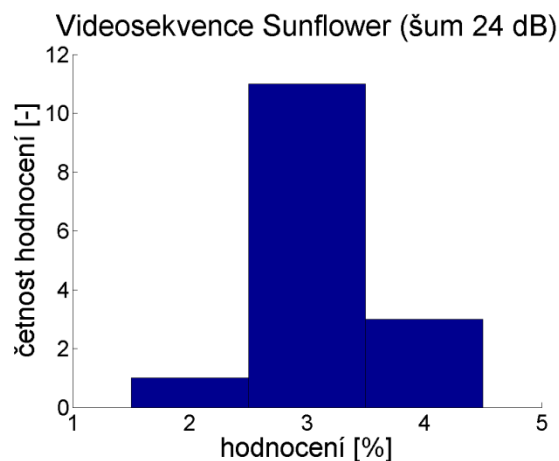
Obr. 7.34 Celkové skóre videosekvence "Sunflower".

Na Obr. 7.34 je zobrazeno celkové hodnocení videosekvence *Sunflower*. Je zde zobrazeno hodnocení od uživatelů před přidělením k jednotlivým hodnotám odpovídajících metodě DSIS. Jednotlivé histogramy hodnocení odpovídající metodě DSIS a Obr. 7.34. Jsou zobrazeny na Obr. 7.35. Je vidět, že rozptyl hodnocení od jednotlivých uživatelů je i zde pro kvalitní (Obr. 7.35 a) a silně poškozené (Obr. 7.35 d) videosekvence menší než pro videosekvence se střední kvalitou (Obr. 7.35 b, c) odpovídající hodnocení (2 - 4).

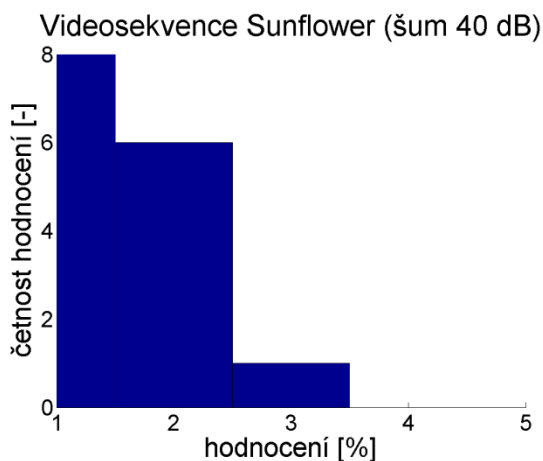
Porovnání získaných výsledků pro všechny videosekvence poškozené šumem je na Obr. 7.36 a Obr. 7.37. Rozdíl mezi hodnocením jednotlivých videosekvencí není velký. Tento rozdíl je velkou měrou dán způsobem vyhodnocení metody DSIS, kdy se hodnocení uživatelů přiřazuje k jedné z pěti hodnot. Rozdíl v hodnocení jednotlivých videosekvencí je větší na Obr. 7.37. To je způsobeno vlastnostmi potenciometru, kdy pozorovatel nevidí přesně zadanou hodnotu. Rozdíl se také projevil u videosekvence se střední kvalitou, kde je rozptyl hodnocení větší. Poté vlivem přiřazení hodnocení k jedné hodnotě vznikají větší odchylky.



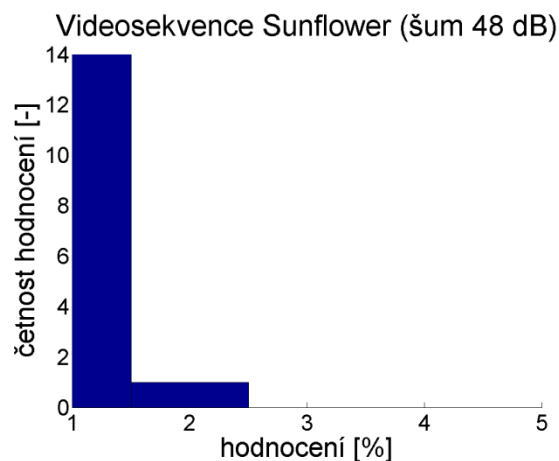
a) přidaný šum 8dB



b) přidaný šum 24dB



c) přidaný šum 40dB

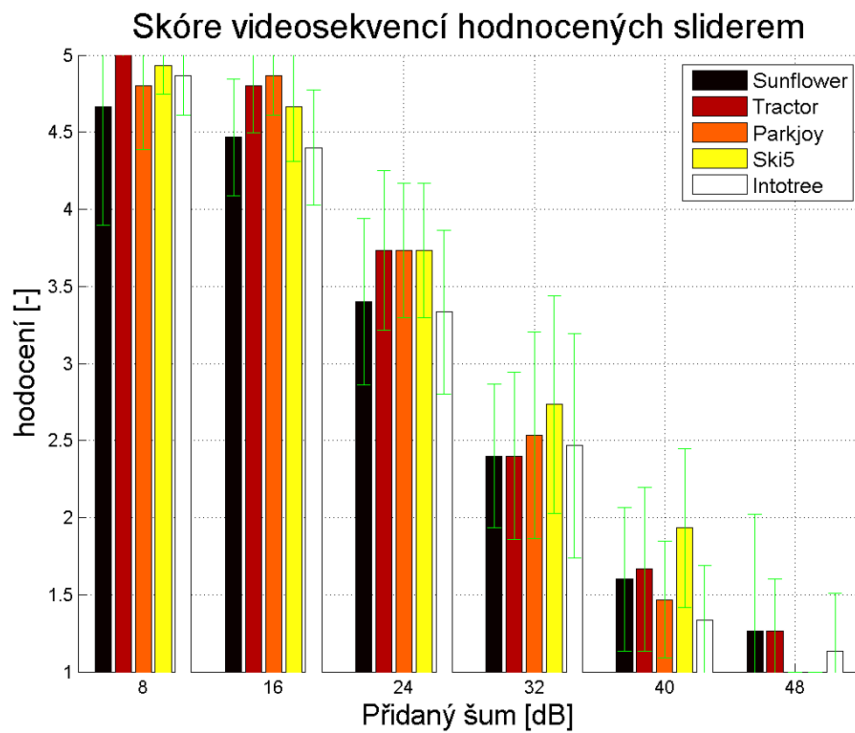


d) přidaný šum 48dB

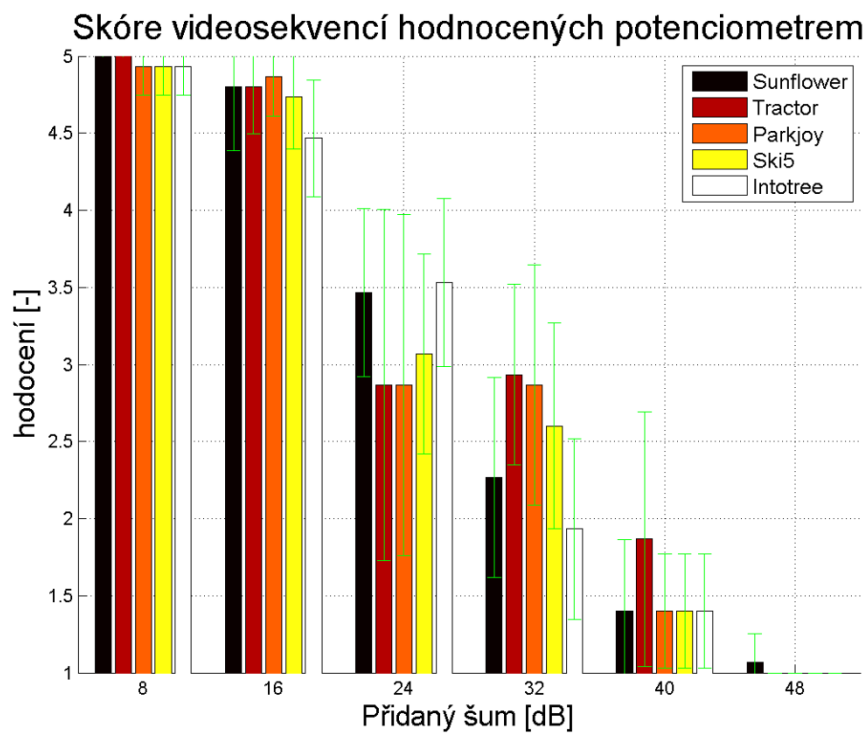
Obr. 7.35 Histogram hodnocení videosekvence "Sunflower".

Stejně jako u metody SS i zde platí, že videosekvence *Tractor* poškození šumem maskuje nejlépe a videosekvence *Sunflower* naopak nejhůře. U Metody DSIS hodnocení kvality klesá rychleji. A videosekvence *Ski5* a *Intotree*, které obsahují malý šum, mají při malém poškození (8 dB a 16 dB) lepší skóre než u metody SS. To je samozřejmě dáno samotnou metodou. U metody DSIS se hodnotí zhoršení kvality videosekvence od originální.

Rozptyl hodnocení jednotlivých pozorovatelů, reprezentovaný v grafech důvěrným intervalem (zelená barva), je menší v porovnání s rozptylem hodnocení videosekvencí poškozenými komprimací a hodnocených stejnou metodou.



Obr. 7.36 Skóre videosekvencí hodnocených sliderem.



Obr. 7.37 Skóre videosekvencí hodnocených potenciometrem.

7.4 Vliv způsobu hodnocení

V Tab. 7.1 jsou uvedeny absolutní rozdíly hodnocení mezi hodnotami získanými pomocí slideru a pomocí potenciometru. U metody DSIS je tento rozdíl přepočítán v dvou krocích. Nejprve se přepočte získané průměrné hodnocení tak, aby hodnoty odpovídaly metodě SS dle (7.1).

$$\text{průměr}_{SS} = (\text{průměr}_{DSIS} - 1) * 25 \quad [\%] \quad (7.1)$$

$$\text{průměr}_{SS} = (4,5 - 1) * 25 = 87,5 \%$$

Od průměru získaného metodou DSIS se odečte 1, aby nejnižší hodnocení bylo nulové. Poté je maximum získané videosekvence 4. Aby maximální hodnocení bylo, jako u metody SS 100% misí se tato hodnota vynásobit 25.

Následně se vypočte průměrná odchylka. Ta se počítá dle stejného vzorce (7.2) i pro metodu SS.

$$\Delta = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{\text{průměr}_{slider\ i} - \text{průměr}_{potenciometr\ i}}{\text{průměr}_{SS}} \quad [\%] \quad (7.2)$$

V Tab. 7.1 jsou uvedeny průměrné odchylky pro všechny videosekvence, druhy poškození i použité metody. Jednotlivé odchylky jsou graficky zobrazeny na Obr. 7.38. Průměrná odchylka hodnocení a maximální odchylka hodnocení sliderem a potenciometrem pro použitá poškození a metody je v Tab. 7.2. Celková průměrná odchylka v hodnocení je 3,62 %. Z Obr. 7.38 je patrné, že největší rozdíl v hodnocení je u videosekvence *Parkjoy* a naopak nejmenší i videosekvence *Ski5*.

Výrazný rozdíl je v hodnocení u použité metody. U metody DSIS je rozdíl v hodnocení mezi sliderem a potenciometrem ve většině případů větší než u metody SS. To je způsobeno rozložením hodnocení od jednotlivých uživatelů a následným přidělením k jedné z hodnot. Tento rozdíl se projeví nejvíce, když je střední hodnota rozptylu blízka jedné ze tří hodnot hodnocení a to konkrétně 2, 3 a 4. To je dobře vidět na videosekvenci *Tractor* a *Parkjoy*, kde je rozdíl v hodnocení největší právě z důvodu klesání hodnocení k těmto hodnotám. Naopak u videosekvence *Ski5* je rozdíl v hodnocení nejmenší z důvodu, že hodnocení k těmto hodnotám neklesá.

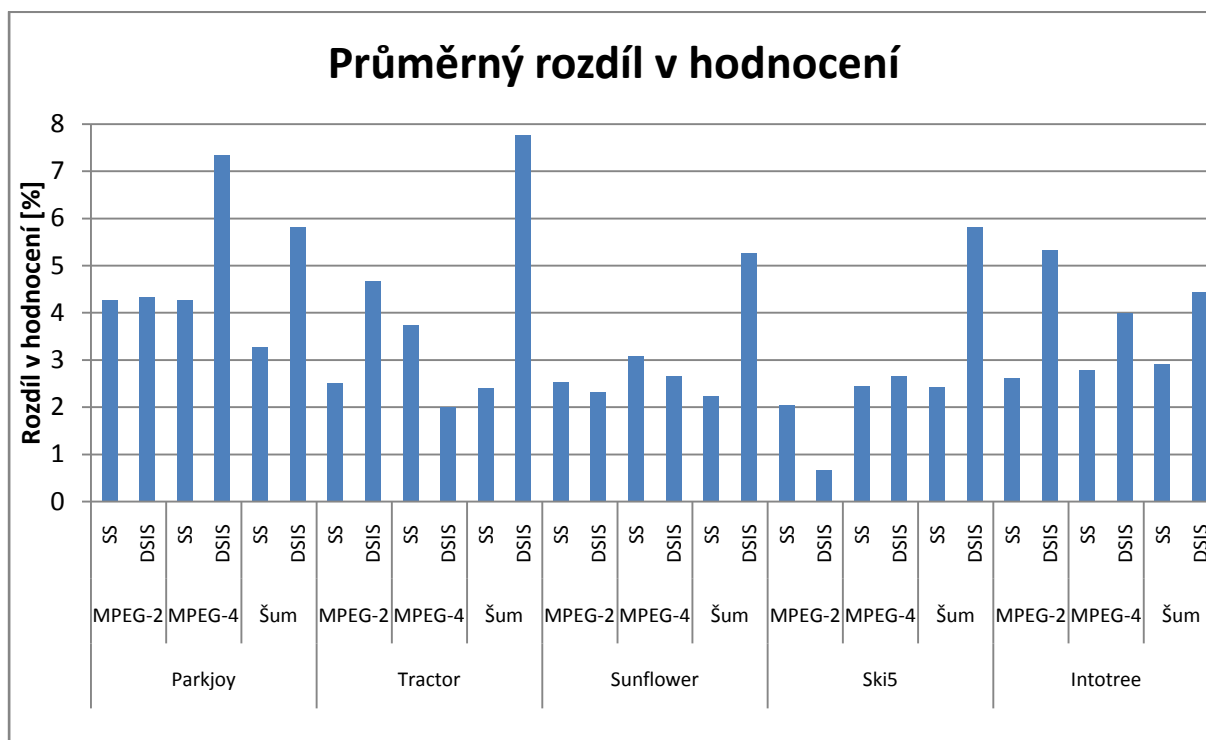
Z Tab. 7.2 je vidět, že maximální odchylky byly v hodnocení sliderem a potenciometrem větší než 10 % u metody SS a u metody DSIS dokonce v jednom případě větší než 20%. Takto velké rozdíly byly ale velice vzácné a projevíly se především u videosekvence *Parkjoy*. Největší rozdíly v hodnocení se projevíly u kvalitních a naopak silněji poškozených videosekvencí. Uživatelé měli tendenci pomocí potenciometru dávat krajní hodnocení (0 a 100), nebo se těmto hodnotám více přibližovali. To je nejlépe vidět při porovnání Obr. 7.36 a Obr. 7.37.

Tab. 7.1 Porovnání rozdílu hodnocení mezi sliderem a potenciometrem

Videosekvence	Poškození	Metoda	Průměrná odchylka Δ [%]
Parkjoy	MPEG-2	SS	4,27
		DSIS	4,33
	MPEG-4	SS	4,28
		DSIS	7,33
	Šum	SS	3,27
		DSIS	5,83
Tractor	MPEG-2	SS	2,52
		DSIS	4,67
	MPEG-4	SS	3,73
		DSIS	2,00
	Šum	SS	2,41
		DSIS	7,77
Sunflower	MPEG-2	SS	2,53
		DSIS	2,33
	MPEG-4	SS	3,09
		DSIS	2,67
	Šum	SS	2,24
		DSIS	5,27
Ski5	MPEG-2	SS	2,06
		DSIS	0,67
	MPEG-4	SS	2,46
		DSIS	2,67
	Šum	SS	2,44
		DSIS	5,83
Intotree	MPEG-2	SS	2,62
		DSIS	5,33
	MPEG-4	SS	2,78
		DSIS	4,00
	Šum	SS	2,92
		DSIS	4,44

Tab. 7.2 Průměrná odchylka v hodnocení sliderem a potenciometrem pro použitá poškození a metody

Poškození	Metoda	Průměrná odchylka [%]	Max odchylka [%]	Videosekvence
MPEG-2	SS	2,75	9,5	Parkjoy
	DSIS	3,47	11,6	Tractor
MPEG-4	SS	3,26	13,1	Parkjoy
	DSIS	3,73	16,6	Parkjoy
Šum	SS	2,66	9,2	Parkjoy
	DSIS	5,83	21,6	Parkjoy



Obr. 7.38 Průměrný rozdíl v hodnocení mezi sliderem a potenciometrem.

7.5 Zhodnocení získaných výsledků

Získané výsledky odpovídají předpokladům pro obě metody testování (SS a DSIS) a to jak tvar křivek, tak i jejich hodnoty. Hodnocení kvality videosekvence s klesajícím datovým tokem klesá a klesá tím rychleji, čím dynamičtější videosekvence je. Ve většině případů má kodek MPEG-2 nižší hodnocení než kodek MPEG-4. Z toho vyplývá, že s použitím novějšího kodeku MPEG-4 místo MPEG-2 se dá ušetřit na datovém toku beze ztráty na obrazové kvalitě. To je nejvíce vidět na dynamických videosekvencích *Tractor* (viz Obr. 7.4 a Obr. 7.24) a *Parkjoy* (viz Obr. 7.5 a Obr. 7.25).

Hodnocení kvality klesá s přidáním šumem, ale rozdíl v hodnocení jednotlivých videosekvencí není velký, protože přidáný šum není závislý na obsahu videosekvence. Rozdíl je pouze v tom jak videosekvence svojí strukturou dokáže přidáný šum maskovat. Nejlépe to dokázala videosekvence *Tractor* (Obr. 7.20).

Získané výsledky hodnocení kvality videosekvencí se liší od použité metody. Metodou SS pozorovatelé hodnotí kvalitu videosekvence bez referenčního nepoškozeného snímku. Pozorovatelé proto hodnotí celkový vjem z videosekvence. U metody DSIS pozorovatelé hodnotí míru zhoršení od originální videosekvence dle Tab. 3.2. Rozdíl v hodnocení je nejlépe vidět na málo zašuměných videosekvencích. Při hodnocení metodou SS dostala i nepoškozená videosekvence hodnocení v rozmezí 87 – 96 % (Obr. 7.20). Po přidání 8 dB šumu se hodnocení téměř

nezměnilo. Tomu odpovídá hodnocení metodou DSIS, kde videosekvence poškozené přidáním 8 dB šumu dostaly hodnocení blízké maximu (Obr. 7.37). Velice podobné je to i pro poškození komprimací videosekvence. Rozdíl mezi použitými videosekvencemi je i v rychlosti klesání hodnocení kvality videosekvencí. Hodnocení klesá rychleji u metody DSIS.

Z těchto poznatků vyplývá, že metoda DSIS se hodí pro získání hodnoty poškození kterou pozorovatel začíná vnímat. Metoda SS se lépe hodí k porovnání celkového vjemu kvality videosekvence. Každý člověk je zvyklý na něco jiného a očekává jinou kvalitu videosekvence. Někomu stačí televize v nízkém rozlišení, jinému již nestačí Full HD (High Definition).

Hodnocení získané pomocí potenciometru se liší od hodnocení získaného pomocí slideru. To je ovlivněno několika faktory.

Videosekvence jsou pro obě metody v jiném náhodném pořadí. To může ovlivnit hodnocení uživatele. Například po několika videosekvencích s nízkým datovým tokem, tedy nízkou kvalitou, může videosekvence s o něco větším datovým tokem dostat lepší hodnocení, než po videosekvencích s větším datovým tokem. To také vysvětluje vyšší skóre u některých videosekvencí s nižším datovým tokem.

Dalším ovlivňujícím faktorem je přesnost hodnocení pomocí slideru. Protože stupnice na potenciometru je jen hrubá, pozorovatel nemůže nastavit přesně hodnotu, kterou by chtěl dané videosekvenci dát. Tento faktor se nejvíce uplatnil u metody DSIS. To potvrdili pozorovatelé po zhlédnutí svých hodnocení po absolvování celého hodnocení.

Z rozhovorů po skončení hodnocení s jednotlivými pozorovateli vyplynulo, že jako lepší metodu získávání dat označili slider a to z důvodu přesnějšího a pohodlnějšího nastavení požadované hodnoty hodnocení. Přesnější je z důvodu zobrazení zadané hodnoty a to navíc v zorném poli pozorovatele.

Hodnocení jednotlivých pozorovatelů bylo velmi rozdílné. Vyšší hodnocení dávali pozorovatelé z netechnickým vzděláním, protože nevěděli, na co se zaměřit a kde hledat chyby. Rozdíl v hodnocení byl také u pozorovatelů zvyklých sledovat Full HD obraz. Ti byli v hodnocení přísnější.

8 Závěr

Cílem práce bylo seznámit se s metodami hodnocení kvality videosekvencí, vytvořit program, který umožňuje hodnocení softwarovými i hardwarovými nástroji, získaná data vyhodnotit a navrhnout koncept laboratorní zprávy. Po dohodě s vedoucím práce jsme upustili od objektivního hodnocení kvality videosekvencí.

V této práci jsou popsány objektivní i subjektivní metody hodnocení videosekvencí. Je také popsán způsob vyhodnocení získaných výsledků subjektivními metodami. Byl vytvořen program v MATLABu určený k získání hodnocení od jednotlivých pozorovatelů. Navíc byl vytvořen program *Barvocit*, pomocí kterého se testuje barvocit pozorovatele.

Hodnocení kvality videosekvencí probíhalo několikrát týdně ve výzkumné laboratoři MVDK a MDTV. Zde byly nastaveny správné podmínky pro hodnocení, jako je intenzita osvětlení a nastavení monitorů.

Získané výsledky subjektivního hodnocení byly vyhodnoceny a důkladně rozebrány pro jednotlivá poškození. Stejně tak byl rozebrán rozdíl mezi metodami hodnocení kvality videosekvencí (v kapitole 7).

Na získaných výsledcích uvedených v kapitole 7 jsou vidět rozdíly v hodnocení pomocí užitých metody i vlivem poškození. Při hodnocení videosekvencí poškozených přidáním šumu nebyl mezi hodnocením jednotlivých videosekvencí velký rozdíl. U videosekvencí poškozených komprimací se hodnocení lišilo použitým kodekem. Kodek MPEG-2 dostal ve většině případů nižší hodnocení, než kodek MPEG-4. Hodnocení se lišilo i pro různé videosekvence. Rozdíl se projevil u silně poškozených videosekvencí (s nízkým datovým tokem). Dynamické videosekvence s klesajícím datovým tokem dostávaly nižší hodnocení, než videosekvence statictější.

Rozdíl v získaném hodnocení se projevil i u použité metody. Při použití metody DSIS hodnocení velmi slabě poškozených videosekvencí dostalo větší hodnocení, než při použití metody SS. Se zvětšujícím se poškozením videosekvence, ale hodnocení klesalo rychleji.

Mezi daty získanými pomocí slideru a potenciometru je průměrná odchylka 3,62 %. Tato odchylka se nejvíce liší užitím metody. Při užití metody SS je průměrná odchylka 2,89 %. U metody DSIS 4,34 %. To je způsobeno vyhodnocením metody DSIS. Získané výsledky se nevyhodnocují plynule, ale pouze v pěti krocích. V kombinaci s nepřesným nastavováním hodnoty se tak odchylka v hodnocení zvětšuje.

Pro tuto práci bylo použito pět videosekvencí. Hodnocení každé ze čtyř kombinací metody a poškození se účastnilo patnáct pozorovatelů. K zpřesnění dosažených výsledků, zmenšení rozdílu v hodnocení a prozkoumání jednotlivých metod by bylo vhodné získat více pozorovatelů a videosekvencí.

Byla také vytvořena laboratorní úloha na které si studenti mohou vyzkoušet hodnocení kvality videosekvencí metodou SS a DSIS a získaná data porovnat.

Literatura

- [1] ŘÍČNÝ, V, KRATOCHVÍL, T. *Základy televizní techniky*. Elektronické skriptum. Brno: FEKT VUT v Brně, 2004.
- [2] ITU-R Recommendation BT.500-13. *Methodology for the Subjective Assessment of the Quality of Television Pictures*. Geneva: ITU, 2012.
- [3] WU, H.R, RAO, K.R. *Digital video image and peceptual coding*. Bora Raton: Taylor & Francis, 2006. 600 s. ISBN 0-8247-2777-0.
- [4] ITU-T Recommendation P.910. *Subjective Video Quality Assessment Methods for Multimedia Applications*. Geneva: ITU, 2008.
- [5] KRATOCHVÍL, T. *Digitální televizní systémy (MDTV)*. Elektronické skriptum. Brno: FEKT VUT v Brně, 2007.
- [6] JAN, J. *Číslíková filtrace, analýza a restaurace signálů*. Druhé upravené vydání. VUTIUM, Brno, 2002. ISBN 80-214-1558-4.
- [7] ITU-R Recommendation BT.1683 *Objective Perceptual Video Quality Measurement Techniques for Standard Definition Digital Broadcast Television in the Presence of a Full Reference*. Geneva: ITU, 2004.
- [8] GONZALEZ, R. C, WOODS, R. E, EDDINS, S. L. *Digital Image Processing Using MATLAB* (2nd edition), Gatesmark Publishing, 827 s. 2009. ISBN 0-98-208540-0.
- [9] *VideoLAN - VLC: Official Site*. [Online], [cit. 10. května 2012]. Dostupné na: <http://www.videolan.org>.
- [10] SLANINA, M., KRATOCHVÍL, T., POLÁK, L., ŘÍČNÝ, V. *Temporal aspects of scoring in the user based quality evaluation of HD video*. In 34th *International Conference on Telecommunications and Signal Processing TSP 2011*. Budapest (Hungary), 2011, p. 598 - 601.
- [11] *Color perception test* [online], poslední aktualizace 17. 2. 2012, [cit. 10.května 2012], Wikipedie. Dostupné na: http://en.wikipedia.org/wiki/Color_perception_test.
- [12] *Snellen chart* [online], poslení aktualizace 6. Dubna 2012, [cit. 10. května 2012], Wikipedie. Dostupné na: http://en.wikipedia.org/wiki/Snellen_test.
- [13] PINSON, M. H, WOLF, S, CERMAK, G. *HDTV Subjective Quality of H.264 vs. MPEG-2, With and Without Packet Loss*. IEEE Transactions on Broadcasting. 2010, vol 56 no. 1, p.86-91.
- [14] ITU-T. *Objective perceptual assessment of video quality: Full reference television*. Geneva: ITU, 2004.
- [15] ITU-T Recommendation P.800.1 *Mean Opinion Score (MOS) terminology*. Geneva: ITU, 2007.

Seznam zkratek

AWGN	Additive White Gaussian Noise
DCT	Discrete Cosine Transform
DSIS	Double-Stimulus Impairment Scale
GUI	Graphical User Interface
ITU	International Telecommunication Union
MATLAB	MATrix LABoratory
MPEG	Moving Picture Experts Group
MSE	Mean Squared Error
PSNR	Peak Signal-to-Noise Ratio
SS	Single-Stimulus
VLC	VideoLan Client

Seznam příloh

Příloha 1. Koncepce laboratorní úlohy	69
Příloha 2. Vzorové vypracování laboratorní úlohy	76

Příloha 1. Koncepce laboratorní úlohy

Digitální televizní a rozhlasové systémy (MDTV, LDTV)

Laboratorní úloha č.3

Subjektivní hodnocení kvality videosekvencí

Účelem úlohy je vyzkoušet si subjektivní hodnocení kvality videosekvencí metodou SS a DSIS. Zpracovat získané hodnocení videosekvencí a vhodně zobrazit.

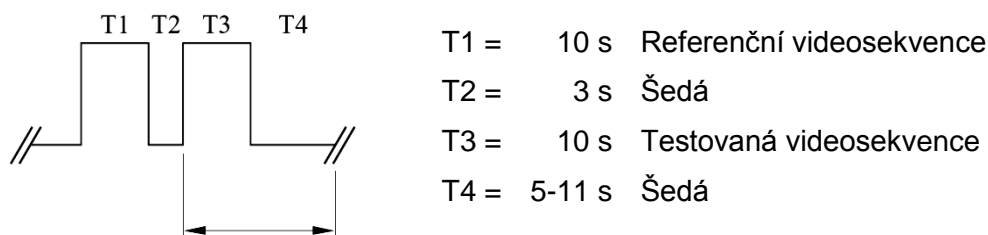
Teoretický úvod

V dnešní době se používají téměř výhradně digitální videosekvence. Jejich výhodou je snadná šířitelnost a přenosnost. Hlavní nevýhodou je velký datový tok. Ten se nejčastěji redukuje ztrátovou komprimací, poté nelze videosekvenci dokonale obnovit a dochází ke zhoršení kvality. S rostoucí komprimací se kvalita obrazu snižuje. Různé komprimační kodeky mají různou účinnost komprese a výslednou obrazovou kvalitu videosekvence.

Aby se jednotlivé kodeky a další typy poškození dali porovnat, musí se provést hodnocení kvality poškozené videosekvence. Způsobů hodnocení kvality videosekvencí je mnoho. Dělí se do dvou skupin, subjektivní a objektivní metody. Subjektivní hodnocení kvality provádí skupina lidí (pozorovatelů). Ti musí splňovat určité požadavky, především mít dobrý zrak a barvocit. Výsledky jsou přesnější, ale časově a finančně značně náročné. Objektivní metody jsou založené na některém parametru videosekvence, například šumu. Hodnocení sekvence je rychlé a levné, ale není tak věrohodné. Proto je snaha vytvořit model lidského vnímání.

Jsou různé metody subjektivního hodnocení kvality videosekvencí. Metody založené na porovnávání poškozené videosekvence s originální tzv. the Double-Stimulus metody a metody bez užití referenční videosekvence Single-Stimulus. Obě metody mají více variant hodnocení. Tyto varianty jsou detailně popsány v ITU-R BT.500 [1] a ITU-T P.910 [2].

Zde použitá metoda DSIS je založena na porovnávání originální referenční videosekvence s poškozenou. Tyto videosekvence se střídají v konstantním časovém rastru znázorněném na Obrázek 1. Jednotlivé páry videosekvencí jsou v náhodném pořadí a jsou od sebe odděleny videosekvencí se střední úrovní šedé barvy. Pozorovatel hodnotí kvalitu videosekvence od 1 do 5, slovní popis těchto hodnot je uveden v programu.



Obrázek 1: Struktura videosekvence DSIS (Převzato a upraveno z [1]).

Druhou použitou metodou je metoda SS je jednodušší. Nejsou zde použity originální videosekvence, pouze se náhodně střídají poškozené videosekvence, ve stejném časovém rastru jako u metody DSIS. Pozorovatel hodnotí kvalitu videosekvence od 1 do 100, slovní popis hodnot je uveden v programu.

Aby se získané výsledky daly prezentovat a porovnávat, je nutné je statisticky zpracovat. První krok pro prezentaci výsledků je spočítání průměrného skóre videosekvence. Dostaneme jej dle [1]:

$$\overline{u_{jkr}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N u_{ijkr}, \quad [-] \quad (1)$$

kde:

u_{ijkr} – skóre pozorovatele i pro testovanou podmínku j , sekvenci k a opakování r

N – počet pozorovatelů

l – počet prezentací

j – testovaná podmínka

k – testovací sekvence

r – počet opakování kombinace sekvence a poškození

Dalším krokem je spočítat důvěrný interval. Prezentovaná data by měla ležet v důvěrném intervalu. Tím se odstraní uživatelé, kteří hodnotili danou videosekvenci velmi odlišně od průměru. To se může stát například vlivem nepozornosti pozorovatele. Důvěrný interval je rozmezí [1]:

$$[u_{jkr} - \delta_{jkr}, u_{jkr} + \delta_{jkr}], \quad (1)$$

kde:

$$\delta_{jkr} = 1,96 \frac{s_{jkr}}{\sqrt{N}}, \quad [-] \quad (2)$$

Standardní odchylku pro každou prezentaci S_{jkr} dostaneme:

$$S_{jkr} = \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{(\overline{u_{jkr}} - u_{ijkr})^2}{N - 1}}, \quad [-] \quad (3)$$

kde:

u_{jkr} – průměrné skóre videosekvence

u_{ijkr} – skóre videosekvence od jednoho uživatele

Poslední krok prezentace výsledků subjektivního hodnocení je spočítání korigovaného průměru. Používá se k zpřesnění dosažených výsledků vyloučením pozorovatelů s odchylkou hodnocení od průměru větší než je důvěrný interval. Detailněji popsáno v [1]. Počítá se stejně jako průměrné skóre videosekvence dle rovnice (1), ale skóre pozorovatele musí být v důvěrném intervalu (2).

Zadání

1. Seznamte se s obsluhou programu *Barvocit* a otestujte svůj barvocit.
2. Nastavte program VLC
3. Vyzkoušejte hodnocení kvality videosekvencí metodou SS.
4. Vyzkoušejte hodnocení kvality videosekvencí metodou DSIS.
5. Z příložených dat vypočítejte průměrné skóre pro videosekvence a důvěrný interval
6. Vypočítaná data graficky zobrazte pro libovolnou videosekvenci.
7. Pomocí sloupcového grafu porovnejte jednotlivé videosekvence a poškození.

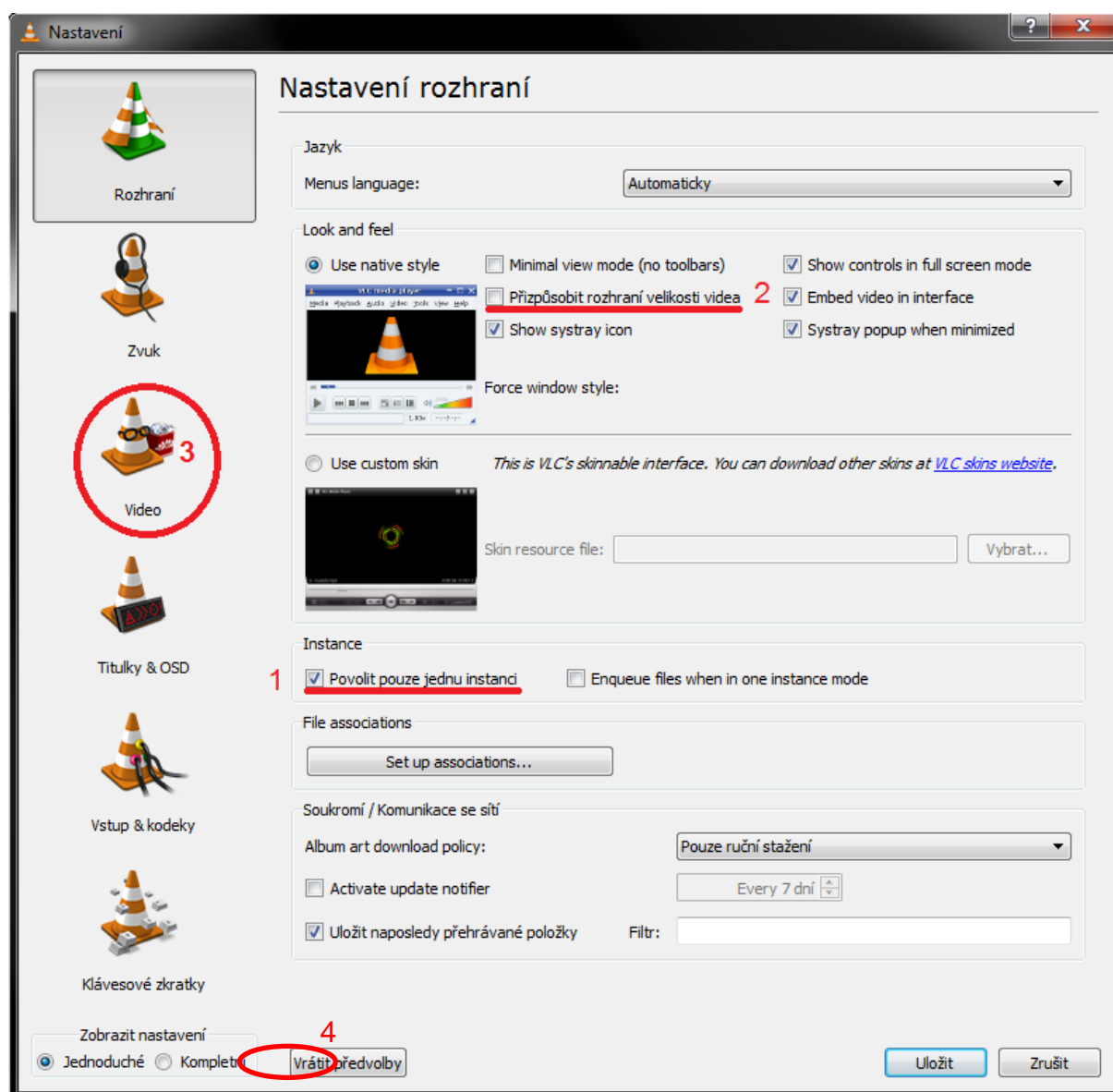
Postup měření

1. Spustíte program MATLAB. V editoru je otevřen soubor *Barvocit*. Ten slouží k otestování barvocitu. Spustíte jej klávesou F5. Ze zobrazeného obrázku opište číslo do kolonky *Opiš číslo*, poté stisknete tlačítko *OK*, čímž potvrdíte svoji volbu a zobrazí se správné řešení. Poté klikněte na tlačítko *Další*. Tím se zobrazí další obrázek. Tento postup opakujte dokud se nezobrazí hlášení o konci testu. Výslednou úspěšnost a počet správných a špatných odpovědí vidíte v levém spodním rohu. Na vaše odpovědi se můžete podívat v souboru *vysledky.xls*. Hodnocení by se neměli účastnit pozorovatelé s více než jednou chybou.
2. Spustíte a nastavíte program VLC. Po spuštění programu se v horní liště klikne na *Nástroje/Předvolby* nebo zmáčknutím kláves *Ctrl+P* dostaneme do nastavení programu viz Obrázek 2. Zde nejprve zatrhneme možnost *Povolit pouze jednu instanci* (bod 1), poté se nebude pro každou videosekvenci otevírat nové okno přehrávače. Odtrhneme možnost *Přizpůsobit rozhraní velikosti videa* (bod 2), nastavená velikost a poloha okna se se spuštěním

další videosekvence nezmění. Následně dáme změny uložit a přepneme se na záložku Video (bod 3).

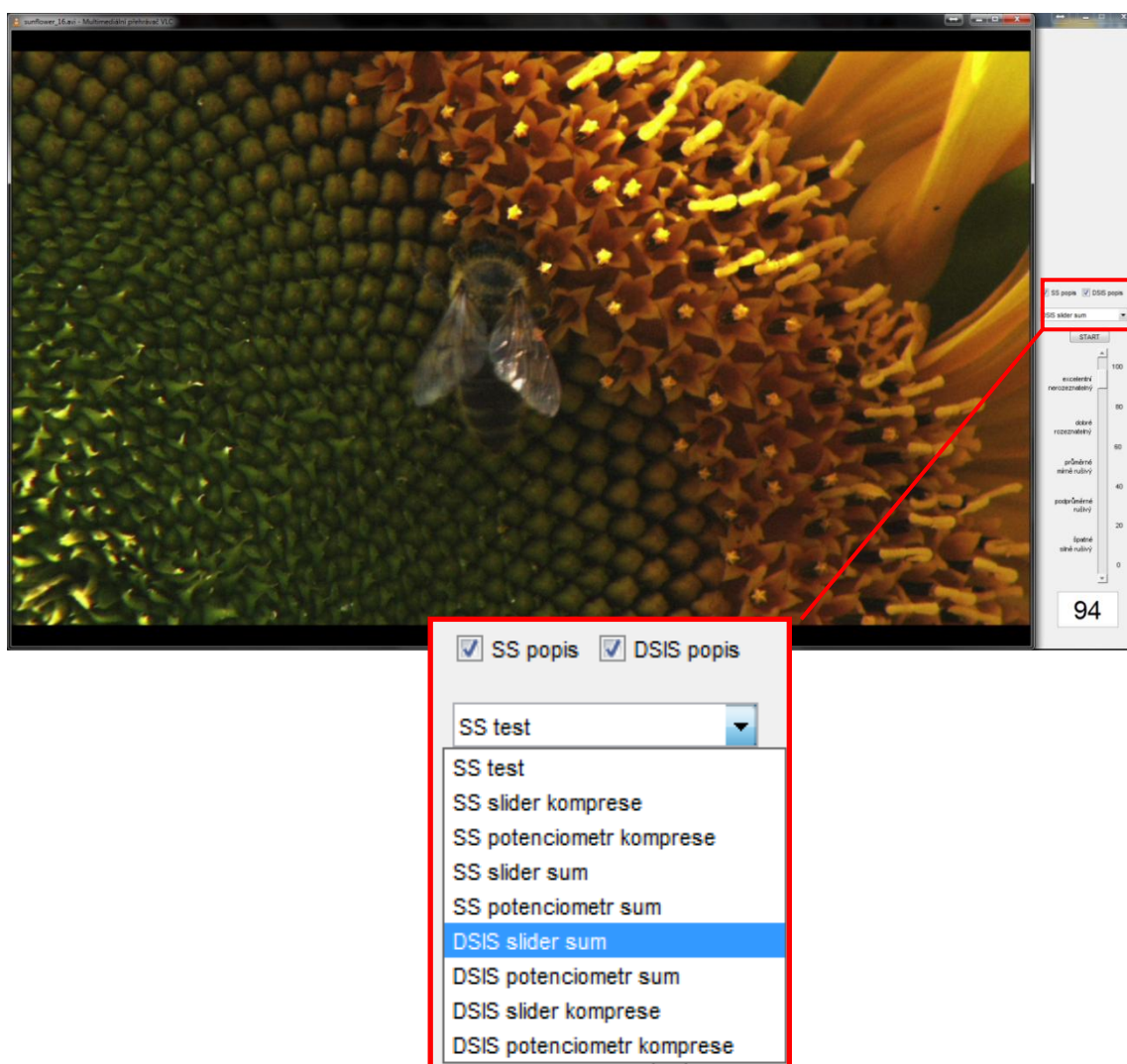
V záložce Video zatrhneme možnost vždy navrchu, aby se při testování nic nemohlo dostat před videosekvencí a tím ji zakrýt. Změny opět uložíme.

Pro další nastavení se přepneme z *jednoduchého* do *kompletního* nastavení. Přepínač je ve spodním levém rohu (bod 4). Dále se přepneme do položky Video. Zde zrušíme možnost *Zobrazovat titul média přes video*. Poté se nebude při spuštění videosekvence zobrazovat její název, což je rušící a především videosekvence je pro přehlednost programu podle poškození pojmenovaná.



Obrázek 2: Nastavení programu VLC.

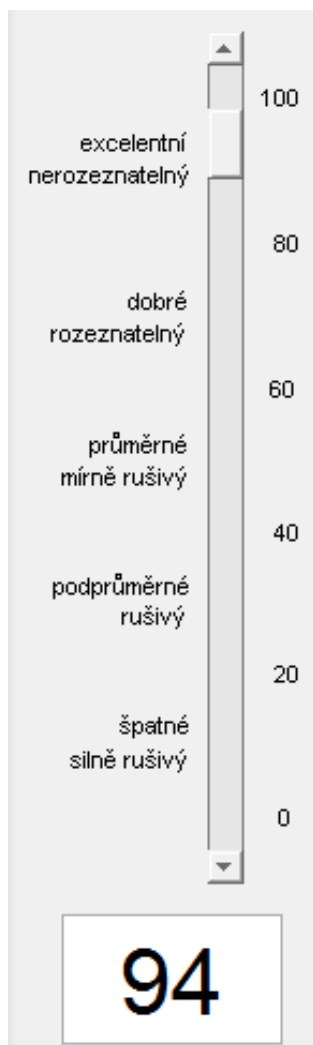
3. V editoru MATLABu spustíte soubor *slider_menu* klávesou F5. Upravte pozici a velikost okna programu VLC tak, aby bylo co největší, ale nezakrývalo ovládací prvky programu Obrázek 3. Stisknutím klávesové zkratky Ctrl+H se skryje stavová lišta programu VLC.
Z menu programu *slider_menu* vyberte možnost *SS test* zatrhněte pole *SS popis* a spustíte testovací prezentaci tlačítkem *Start*. Hodnocení provádějte pomocí *Slideru* Obrázek 4 a). Přesnou hodnotu z něj vidíte ve spodním pravém rohu.
4. Po skončení předchozí prezentace vyberte z menu položku *DSIS šum*. Zobrazte si popis pro metodu DSIS zatrhnutím pole *DSIS popis*. Popis metody SS zrušte. Opět testovací prezentaci spustíte tlačítkem *Start*. Hodnocení provádějte přiloženým potenciometrem připojeným do USB Obrázek 4 b).



Obrázek 3: Vzhled hlavního programu + detail menu.

5. Z přiložených dat *Data_DSIS_pot_sum.xls* a *Data_SS_sli_kom.xls* vypočítejte pomocí MATLABu průměrné skóre pro každou videosekvenci dle vztahu (1) a důvěrný interval dle vztahů (2) až (4). K načtení dat slouží příkaz `xlsread`.

6. Vypočtená průměrná skóre zobrazte zvlášť pro libovolnou videosekvenci z každé metody. Do grafu zobrazte i vypočtený důvěrný interval.
7. Vypočtená průměrná skóre zobrazte zvlášť pro metodu DSIS a pro SS. K zobrazení použijte sloupcový graf příkaz `Bar`.



a) Výřez slideru z hlavního programu



b) Elektronický potenciometr

Obrázek 4: Použité nástroje k hodnocení. a) softwareový b) hardwareový.

Použité přístroje

Počítač s nainstalovaným programem MATLAB R2009b.
Elektronická potenciometr.

Závěr

Do závěru každý student uvede své individuální hodnocení měření a potvrdí jej svým podpisem. Je třeba podrobně komentovat každý bod měření, všechny výsledky a každou měřenou charakteristiku. Individuální závěr by měl také uvádět důležité technické a odborné poznatky z měření.

Kontrolní otázky

1. Jaký je rozdíl mezi subjektivním a objektivním hodnocením kvality videosekvencí?
2. Jaký je rozdíl mezi metodami Double-Stimulus a Single-Stimulus?
3. Jaký je nejdůležitější získaný parametr kvality hodnocených videosekvencí subjektivní metodou?
4. K čemu slouží důvěrný interval u vyhodnocování subjektivních metod?

8.1 Použitá a doporučená literatura

- [1] ITU-R Recommendation BT.500-13. *Methodology for the Subjective Assessment of the Quality of Television Pictures*. Geneva: ITU, 2012.
- [2] ITU-T Recommendation P.910. *Subjective Video Quality Assessment Methods for Multimedia Applications*. Geneva: ITU, 2008.
- [3] WU, H.R, RAO, K.R. *Digital video image and peceptual coding*. Bora Raton: Taylor & Francis, 2006. 600 s. ISBN 0-8247-2777-0.

Příloha 2. Vzorové vypracování laboratorní úlohy

Digitální televizní a rozhlasové systémy (MDTV, LDTV)

Laboratorní úloha č.3

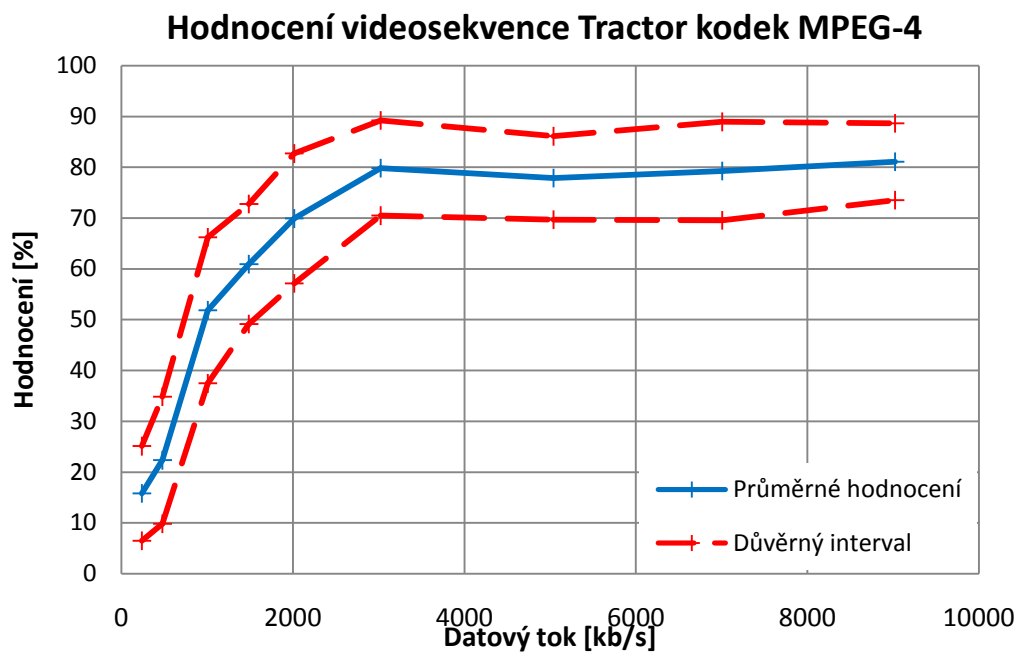
Subjektivní hodnocení kvality videosekvencí

Zadání měření

1. Seznamte se s obsluhou programu *Barvocit* a otestujte svůj barvocit.
2. Nastavte program VLC
3. Vyzkoušejte hodnocení kvality videosekvencí metodou SS.
4. Vyzkoušejte hodnocení kvality videosekvencí metodou DSIS.
5. Z příložených dat vypočítejte průměrné skóre pro videosekvence a důvěrný interval.
6. Vypočítaná data graficky zobrazte pro libovolnou videosekvenci.
7. Pomocí sloupcového grafu porovnejte jednotlivé videosekvence a poškození.

Vypracování

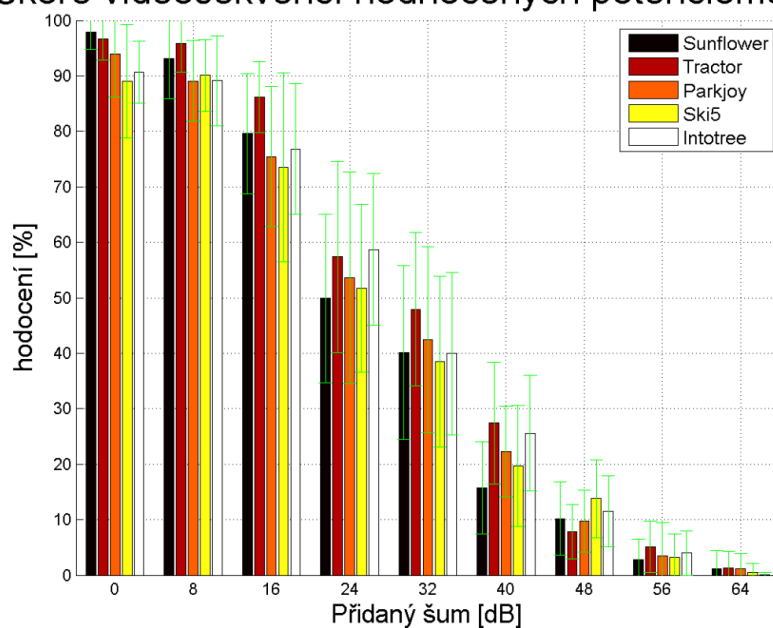
6.



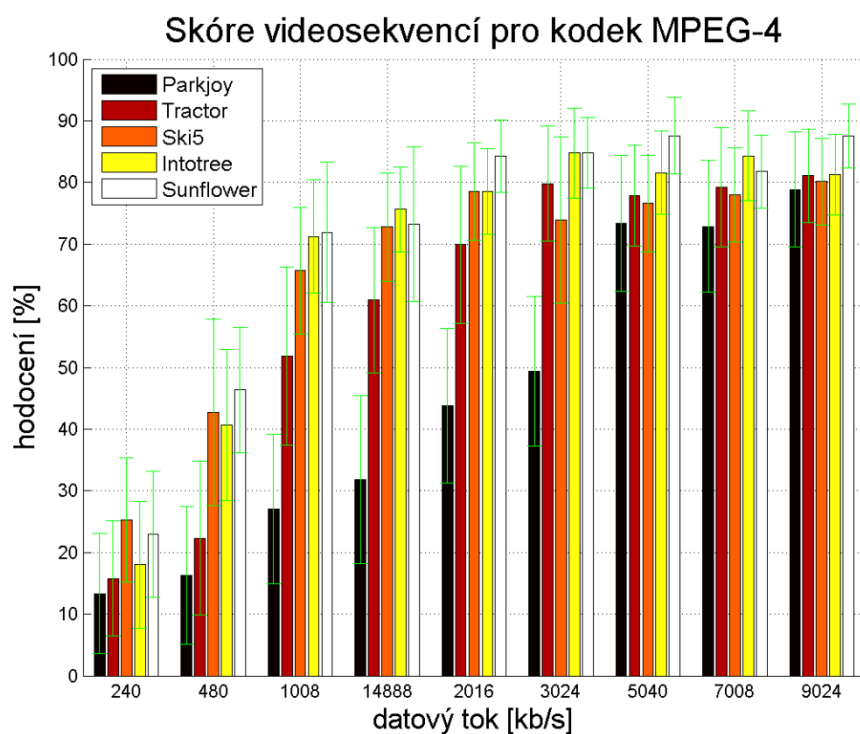
Obrázek 1: Hodnocení videosekvence traktor metodou SS.

7.

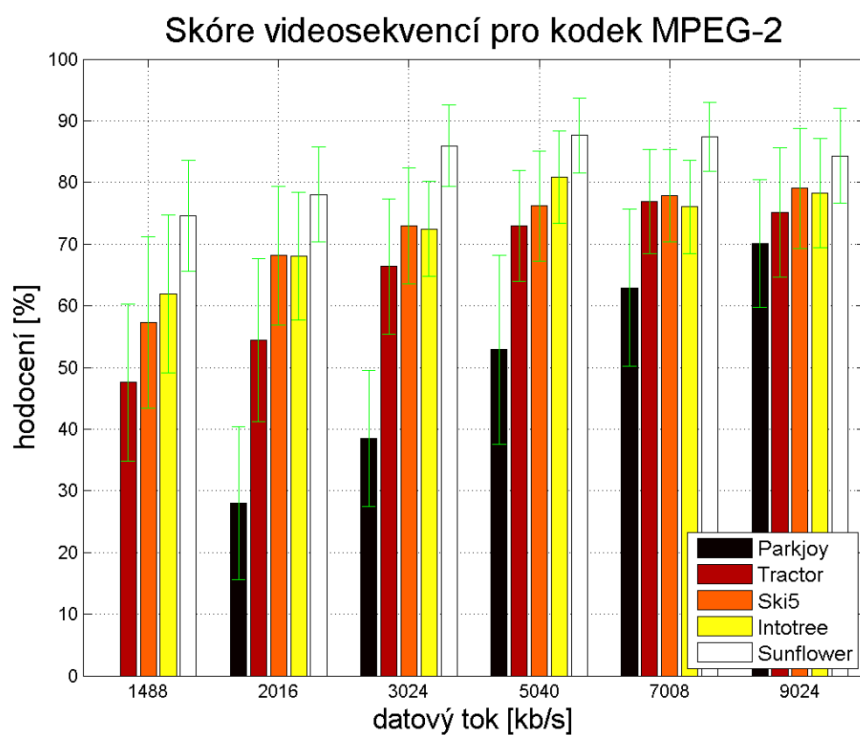
Skóre videosekvencí hodnocených potenciometrem



Obrázek 2: Skóre videosekvencí poškozených přidaným šumem.



Obrázek 2: Skóre videosekvencí poškozených kodekem MPEG-4.



Obrázek 2: Skóre videosekvencí poškozených kodekem MPEG-2.

Použité přístroje

Počítač s nainstalovaným programem MATLAB R2009b.

Elektronická potenciometr.

Závěr

Do závěru každý student uvede své individuální hodnocení měření a potvrdí jej svým podpisem. Je třeba podrobně komentovat každý bod měření, všechny výsledky a každou měřenou charakteristiku. Individuální závěr by měl také uvádět důležité technické a odborné poznatky z měření.

Odpověď na kontrolní otázky

1. Subjektivní hodnocení provádí skupina lidí (pozorovatelů), objektivní se počítá z parametrů videosekvence.
2. Double-Stimulus metody na rozdíl od Single-Stimulus metod porovnávají poškozenou videosekvenci s originální.?
3. Průměrné skóre videosekvence
4. K zpřesnění dosažených výsledků odstraněním pozorovatelů z velkou odchylkou od průměru.